



COLOQUIO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA

JOURNAL CIM – REVISTA DIGITAL
ISSN 2007 8102

Volumen 10. Núm. 1, Octubre 2022

REVISTA PERIÓDICA



latindex



DIFUSIÓN VÍA RED DE CÓMPUTO

http://cim.orizaba.tecnm.mx/?page_id=161

COLOQUIO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA
JOURNAL CIM
Science, Technology and Educational Research
VOLUMEN 10, NÚMERO 1, OCTUBRE 2022 **ISSN: 2007-8102**

© D.R. Tecnológico Nacional de México /I.T. Orizaba
Av. Oriente 9 No. 852
C.P. 94320
Orizaba, Veracruz México
http://cim.orizaba.tecnm.mx/?page_id=161

Coloquio de Investigación Multidisciplinaria, Vol. 10, Núm. 1, octubre 2022, es una publicación anual, publicada y editada por el Tecnológico Nacional de México dependiente de la Secretaría de Educación Pública, a través del Tecnológico Nacional de México /I.T. Orizaba, Avenida Universidad 1200 5º Piso, Colonia Xoco, Delegación Benito Juárez, C.P. 03330, Ciudad de México, Tel. + (52) 5536002500 Ext. 65064, d_vinculacion05@tecnm.mx. Editora Responsable M.C. María Antonieta Abud Figueroa. Reserva de derecho al Uso Exclusivo NO. 04 --- 2013 --- 093010380600 – 203, ISSN 2007-8102 (en trámite), ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsable de la última actualización de este número M.C. María Antonieta Abud Figueroa, en la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México /I.T. Orizaba, Oriente 9, No. 852, Col. Emiliano Zapata, Orizaba Veracruz, México, C.P. 94320, Tel. + (52) 2721105360. Fecha de última modificación, 25 de octubre de 2022.

Su objetivo principal es difundir resultados de proyectos de investigación de personal adscrito a diversas instituciones nacionales y extranjeras, en las áreas de Ingeniería Administrativa, Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Ingeniería Industrial, Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Sistemas Computacionales e Investigación Educativa.

Para su publicación los artículos son sometidos a arbitraje, su contenido es de la exclusiva responsabilidad de los autores y no representa necesariamente el punto de vista de la Institución.

Las publicaciones de los artículos son sometidas a revisión por un comité de arbitraje y el contenido es responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción parcial o total de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto encargado, salvo que sea citada la fuente de origen

Revista Indexada en LATINDEX y en OpenAire



COLOQUIO DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARIA
JOURNAL CIM
Science, Technology and Educational Research
VOLUMEN 10, NÚMERO 1, OCTUBRE 2022 **ISSN: 2007-8102**

DIRECTORIO

Dr. Ramón Jiménez López	Director General del TecNM
MA Rigoberto Reyes Valenzuela	Director del TecNM Campus Orizaba
Dr Miguel Josué Heredia Roldán	Subdirector Académico
Dra. Angélica Mara Bello Ramírez	Subdirector de Planeación y Vinculación
L.I. Rubén Juárez Rodríguez	Subdirector de Servicios Administrativos

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Mario L. Arrijoa Rodríguez	Responsable General
Dr. Fernando Ortiz Flores	Responsable Técnico
M.C. Gabriela Cabrera Zepeda	Responsable de Logística
Dr. Fernando Aguirre y Hernández	Ingeniería Administrativa
Dra. Ma. Eloísa Gurruchaga Rodríguez	Ingeniería Industrial
Dr. Gerardo Águila Rodríguez	Ingeniería Electrónica y Eléctrica
Dr. Ignacio Herrera Aguilar	Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
M.S.C. Luis Ángel Reyes Hernández	Sistemas Computacionales
Dr. Juan Manuel Méndez Contreras	Ingeniería Química
Dra. Martha Elena Fernández Ramírez	Investigación Educativa

COORDINACIÓN EDITORIAL

M.C. María Antonieta Abud Figueroa

COMITÉ DE ARBITRAJE Ingeniería Administrativa

Dr. Luis Emiro Belloso Araujo	Universidad Nacional Experimental Rafael Maria Barralt
Dr. Sixto Arotoma Cacñahuaray	Universidad Mayor Nacional de San Marcos. Perú
Dr. Jesús Martín Cadena Badillo	Universidad de Sonora
Dr. Porfirio Tamayo Contreras	Universidad de Guanajuato
Dr. David Aldana Prieto	Universidad de Guanajuato
Dr. Joel Everardo Valtierra Olivares	Universidad de Guanajuato
Dr. Felipe De Jesús Salvador Leal Medina	Universidad Autónoma de Aguascalientes
Dr. Roberto González Acolt	Universidad Autónoma de Aguascalientes
Dra. Claudia Vázquez Rojas	TecNM/Tecnológico Superior de Misantla
Dr. Daniel Martínez Navarrete	TecNM/Tecnológico Superior de Misantla
Dr. Daniel Villanueva Vázquez	TecNM/Tecnológico Superior de Misantla
MC. Elva Rosaura Pineda Armendáriz	TecNM/Tecnológico de la Laguna
Dr. Hugo Romero Montoya	TecNM/Tecnológico de Iztapalapa
Dr. Eduardo Rafael Poblano Ojinaga	TecNM/Tecnológico de Ciudad Juárez
Dr. Guillermo Mejía Méndez	TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla
Dr. Noel Enrique Rodríguez Maya	TecNM/Instituto Tecnológico de Zitácuaro
Dr. Carlos Medina Tello	TecNM/Instituto Tecnológico de Zitácuaro
M.I.A. Alma Gabriela Alcalde Pérez	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Edna A. Romero Flores	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Guillermo Cortés Robles	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Eduardo Roldán Reyes	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Marcos Salazar Medina	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Alicia Águeda Conde Islas	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
MC. Nuria Ortega Peterson	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Fernando Aguirre Y Hernández	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
MC. Maricela Gallardo Córdova	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
MC. Gabriela Cabrera. Zepeda	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Corina Guillermina Ocegueda Mercado	TecNM/Instituto Tecnológico de Matamoros
Dr. José Roberto Jiménez Echeverría	TecNM/ Instituto Tecnológico de Zitácuaro
Dra. Guillermina Pérez González	Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán

COMITÉ DE ARBITRAJE Ingeniería Industrial

Dr. Erick Arturo Betanzo Torres	Ingeniería Agropecuaria del Papaloapan, S.P.R. de R.L.
M.I.I. Fernando Ortiz López	Crown México planta Orizaba
M.I.I. Missael Alberto Román del Valle	Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ, Unidad Tabasco
M.I.I. José Carlos Hernández González	Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ, Unidad Tabasco
M.I.I. José Roberto Grande Ramírez	Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz UTCV
M.I.I. Rosa Isela Castro Salas	Universidad Veracruzana - Facultad de Ciencias Químicas
Dra. Karla Diaz Castellanos	Universidad Veracruzana - Facultad de Ciencias Químicas
Dr. Carlos Diaz Ramos	Universidad Veracruzana - Facultad de Ciencias Químicas
MG. Federico Walas Mateo	Universidad Nacional Lomas de Zamora, Argentina
MG. Federico Walas Mateo	Universidad Nacional Arturo Jauretche, Argentina
Dr. Joel Everardo Valtierra Olivares	Universidad de Guanajuato
M.I.I. Erick Cervantes Mendieta	Universidad Autónoma de Nuevo León
M.I.I. Isaac Sánchez Anastacio	TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Zongolica
M.I.I. Carlos Humberto Dimas García	TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Zongolica
M.I.I. Héctor Jesús Juan Santiago	TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Poza Rica
Dr. Erick Arturo Betanzo Torres	TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Misantla
M.C. Luis Enrique García Santamaria	TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Misantla
M.I.I. César Argüelles López	TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre
M.I.I. Luis Alberto Hernández Sánchez	TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán
M.I.I. María Antonieta Rosas Trinidad	TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán
M.I.I. Antonio Calderón Jiménez	TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán
M.I.I. Bruno Adolfo Villalobos Martínez	TecNM/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez
M.I.I. Julia Krystel López Orduña	TecNM/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez
Dr. Rubén Posada-Gómez	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.I.I. José Roberto Grande Ramírez	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. José Pastor Rodríguez Jarquín	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Hilarión Muñoz Contreras	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Modesto Raygoza Bello	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. Laura Martínez Hernández	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Guillermo Cortes Robles	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Mauricio Romero Montoya	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Oscar Báez Sentíes	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Fernando Ortiz Flores	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Mario Leoncio Arrijoja Rodríguez	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. Jorge Luis Hernández Mortera	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. Constantino Gerardo Moras Sánchez	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. Magno Ángel González Huerta	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Ma. Eloísa Gurruchaga Rodríguez	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Hugo Carrillo Rodríguez	TecNM/Instituto Tecnológico de Celaya
Dr. Rubén Posada-Gómez	TecNM/Centro Regional de Optimización y Desarrollo de Equipo Orizaba
Dr. Carlos Eleazar Pérez Pucheta	TecNM/Centro Regional de Optimización y Desarrollo de Equipo Orizaba

COMITÉ DE ARBITRAJE Ingeniería Química

Dr. Eduardo Hernández Aguilar	Universidad Veracruzana FCQ Orizaba
M.C. Nayeli Gutiérrez Casiano	Universidad Veracruzana FCQ Orizaba
Dr. Luis Antonio López Escobar	Universidad Politécnica de Huatusco
Dr. Juan Enrique Ruiz Espinoza	Universidad Autónoma de Yucatán
Dra. Gabriela Leo Avelino	Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ A.C.)
Dra. Noemí Nava Valente	Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco
Dr. Alejandro Alvarado Lassman	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Denis Cantú Lozano	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. Diana Ibeth Romero Mota	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Erik Samuel Rosas Mendoza	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Eusebio Bolaños Reynoso	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Galo Rafael Urrea García	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Guadalupe Luna Solano	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. Joaquín Estrada García	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba/
M.C. José Manuel Hernández Martínez	Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz
Dr. Juan Manuel Méndez Contreras	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Leticia López Zamora	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. María Elena García Reyes	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
M.I.Q. Norma Alejandra Vallejo Cantú	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Ofelia Landeta Escamilla	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Rosalía Cerecero Enríquez	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. Ruby Sheila Gines Palestino	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Sandra Trinidad del Moral Ventura	TecNM / campus Veracruz
Dr. Erasmo Hernan y Lara	TecNM / campus Tuxtepec
M.C. Luis Alfredo Hernández Vásquez	TecNM / Instituto Tecnológico Superior de Zongolica
Dr. Sergio Reyes Rosas	TecNM / Instituto Tecnológico Superior de Zongolica
Dra. Beatriz Gutiérrez Rivera	TecNM / Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca
Dr. Jesús Atenodoro Alonso	TecNM / Instituto Tecnológico Superior de Huatusco
Dr. Alfredo Domínguez Niño	Instituto de Energías Renovables de la UNAM
Dr. Carlos Manuel Aztorga Zaragoza	TecNM / CENIDET

COMITÉ DE ARBITRAJE Sistemas Computacionales

MSC Mariela Lezama Sánchez	Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz
Dr. Isaac Machorro Cano	Universidad del Papaloapan
Dr. Raymundo Buenrostro Mariscal	Universidad de Colima
Dr. Benjamín Moreno Montiel	Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)
Dr. Asdrúbal López Chau	Universidad Autónoma del Estado de México
Dra Laura Angélica Décaro Santiago	Universidad Autónoma del Estado de México
Dr. René López Flores	Universidad Autónoma de Yucatán
Dr Iván Gallardo Bernal	Universidad Autónoma de Guerrero
Dr. Vicente García Jiménez	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
MSC Norma Leticia Hernández Chaparro	TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Zongolica
Dr. Noel Enrique Rodríguez Maya	TecNM/Instituto Tecnológico de Zitácuaro
Dr. Fevrier Adolfo Valdez Acosta.	TecNM/Instituto Tecnológico de Tijuana
MSC Nancy Cruz Ramos	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
MSC Fernando Carreón Díaz de León	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
MSC Nadia Guzmán Hinojosa	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Giner Alor Hernández	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Ulises Juárez Martínez	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. María Antonieta Abud Figueroa	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Hilarión Muñoz Contreras	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C.E. Beatriz Alejandra Olivares Zepahua	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.R.T. Ignacio López Martínez	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.C. Celia Romero Torres	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Lisbeth Rodríguez Mazahua	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. José Luis Sánchez Cervantes	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Laura Nely Sánchez Morales	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
M.S.C. Luis Angel Reyes Hernández	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Juan Carlos Rojas Pérez	TecNM/Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico CENIDET

COMITÉ DE ARBITRAJE **Ingeniería Mecánica y Mecatrónica**

Dr. Juan Manuel Jacinto Villegas	Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Dr. Luis Felipe Marín Urías	Universidad Veracruzana
Dr. Jorge Bedolla Hernández	TecNM/ Instituto Tecnológico de Apizaco
MC. Blanca Estela González Sánchez	TecNM/ Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Gerardo Águila Rodríguez	TecNM/ Instituto Tecnológico de Orizaba
MC. Enrique Alejandro Cuellar Cortés	TecNM/ Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. José de Jesús Agustín Flores Cuautle	TecNM/ Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. José Pastor Rodríguez Jarquín	TecNM/ Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Ignacio Herrera – Aguilar	TecNM/ Instituto Tecnológico de Orizaba

COMITÉ DE ARBITRAJE **Ingeniería Eléctrica y Electrónica**

Dr. Severino Muñoz Aguirre	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Dr. Rubén Posada Gómez	CRODE Orizaba
M.C. Jesús Medina Cervantes	Facultade de Ing. Universidad Veracruzana
M.C. Nereyda Castro Gutiérrez	Facultade de Ing. Universidad Veracruzana
Dr. Eduardo Mael Sánchez Coronado	Universidad Tecnológica de Centro de Veracruz
Dr. Manuel Adam Medina	TecNM / Cenidet
Dr. José Pastor Rodríguez Jarquín	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Gerardo Águila Rodríguez	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Oscar Osvaldo Sandoval González	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. José de Jesús Agustín Flores Cuautle	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Albino Martínez Sibaja	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
Doctorante Blanca Estela González Sánchez	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Ignacio Herrera Aguilar	TecNM / Instituto Tecnológico de Orizaba
MIE. Luis Alberto Ibáñez Zamora	TecNM / Instituto Tecnológico de G. A. Madero

COMITÉ DE ARBITRAJE Investigación Educativa

Dra. Ana María Saavedra López	Facultad de San Carlos, Guatemala
Dr. Ángel Nava Chirinos	Universidad de la Guajira (UNIGUAJIRA), Colombia.
Dra. María De Lourdes Hernández Rodríguez	Laboratorio Nacional de Informática Avanzada, A.C., (LANIA)
M. C. José Antonio Yáñez Figueroa	Universidad del Golfo de México (UGM), Campus Ciudad Mendoza
Dra. Guadalupe Melina Núñez Valladarez	Supervisor escolar PO40, SEP, estado de México
Dr. Osbaldo Hernández Guevara	Universidad Veracruzana (UV)
M. C. Ysrael Martínez Contreras	Universidad para el Desarrollo Andino (UDEA)
Doctorante Jossue Lara Menéndez	Universidad Veracruzana (UV)
M. C. Darío Arcos Monfil	Asesor Técnico Pedagógico de la Dirección General de Educación Física Federalizada
Dra. Leticia Ontiveros Moreno	Universidad Juárez del estado de Durango (EPEA-UJED)
M. C. Christian Lara Menéndez	Universidad Veracruzana (UV)
Dr. José Andrés Castillo Hernández	Padrón Veracruzano de Investigadores
Dra. Corina Guillermina Ocegueda Mercado	TecNM/Instituto Tecnológico de Matamoros.
M. I. José Luis Méndez Lambaren	TecNM/Instituto Tecnológico de Tapachula
Dra. María Lorena Toledo Cabrera	TecNM/Instituto Tecnológico de Minatitlán
Dr. José Luis Méndez Navarro	TecNM/Instituto Tecnológico de Tuxtla
Dr. Javier Contreras Ruíz	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
M. C. Luís Ángel Reyes Hernández	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
M. C. Patricia Quitl González	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
M. C. Concepción Nava Arteaga	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dr. Gustavo Alvarado Kinnell	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. María Elena Zepahua Neri	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Rita Hernández Flores	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba
Dra. Martha Elena Fernández Ramírez	TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba

MENSAJE DEL COMITÉ EDITORIAL

Con la publicación de la revista, en que se cumplen nueve años de su conformación y en el tercer año de la pandemia, que ha cambiado de modo radical muchas cosas, vemos con satisfacción el resultado de las investigaciones, que bajo estas nuevas circunstancias, muestran el interés que los investigadores tienen por continuar contribuyendo a la solución de las nuevas problemáticas, aportando su creatividad para mejorar el mundo que nos rodea, cada vez más preocupados por disminuir el impacto que las actividades de generación de bienes y servicios tienen sobre el medio ambiente, optimizando el uso de recursos, minimizando el uso de energía, buscando fuentes renovables para obtenerla y ofreciendo alternativas que reutilicen los residuos que estas actividades generan.

En esta edición se reúnen los 249 artículos que fueron aprobados, de los 409 trabajos recibidos, el panel de revisores estuvo conformado por 172 especialistas de 67 instituciones. El estricto proceso de revisión es realizado primero por los responsables de mesa para asegurar que se está respetando el formato establecido, los trabajos que pasan esta etapa son enviados a los revisores, con seudónimos de los autores y de su procedencia para eliminar los sesgos que esta información pudiera generar; sólo a los trabajos aceptados se les agregan los nombres reales de autores e instituciones de procedencia.

En esta edición de la revista: volumen 10. No. 1; los autores provienen de cinco países: Colombia, España, Estados Unidos, Venezuela y principalmente de México; distribuidos en las siete áreas en que se divide esta revista:

- Ingeniería Administrativa
- Ingeniería Eléctrica y Electrónica
- Ingeniería Industrial
- Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
- Ingeniería Química
- Investigación Educativa y
- Sistemas Computacionales

Confiamos que este esfuerzo por divulgar la aplicación de la ciencia y la tecnología permita el desarrollo de nuevas investigaciones que tomen parte de su fundamento en los resultados que aquí se muestran y desarrollen el interés en los investigadores en ciernes que se están formando. Refrendamos, con este volumen, el compromiso de continuar trabajando en ampliar la cobertura y en fortalecer el proceso de mejora de todas las etapas que conforman la realización de esta revista.

INDICE GENERAL

Ingeniería Administrativa	IA-1
Ingeniería Industrial	II-1
Ingeniería Química	IQ-1
Sistemas Computacionales	SC-1
Ingeniería Mecánica-Mecatrónica	IM-1
Ingeniería Eléctrica-Electrónica	IE-1
Investigación Educativa	ED-1

INGENIERÍA ADMINISTRATIVA

- IA01** **Aplicación de herramientas six sigma en una Pyme procesadora de salsas artesanales.** IA-6
Ing. Irene Valencia Lagunes , Dr. Marcos Salazar Medina , M.C. Gabriela Cabrera Zepeda, Dr. Guillermo Cortés Robles, M.C. Maricela Gallardo Córdoba
- IA02** **Proceso Orientado al Individuo en Credenciales del INAPAM** IA-16
Susana Flores, Lamia Hamdan, Silvana Flores, Claudia Torrero, Everardo Torrero
- IA03** **Diseño de máquina desgranadora de pimienta** IA-24
Miguel Aguilar Cortés, María de Lourdes Ruíz Tejeda, Patricia Leonor Tejeda Polo, Marco Antonio Aguilar Cortés, Yazmin Colio Mateo
- IA04** **Implementación de Software NovaQuímicos Para la Gestión de un Laboratorio de Pruebas Químicas** IA-33
Mariana Victoria Gaytán-Ramírez, Juan Manuel Solorzano-Román, Audry Gustavo Peredo-Lovillo, Francisco Erik González-Jiménez
- IA05** **Sobre la gestión de recursos en cultivo de tilapia: Alternativa de producción sostenible para agricultores** IA-41
R.I. Rojas Rauda, O. J. Santos Sánchez, E. Rojas Rauda, E. Villanueva Sánchez, R. Molina Torres
- IA06** **Percepción del liderazgo organizacional en la empresa familiar asociado a los miembros familiares. Caso Aguascalientes** IA-49
Rosa Mayela Mendoza Esparza, Rebeca Hernández Torres, Andrés Mauricio García Gómez, Saúl Hernández Amparanl
- IA07** **Modelo de Innovación Administrativa como estrategia para el mejoramiento en PyMES** IA-59
A.I. Peña Montes de Oca, E.A. Carrillo González, J.C. Ávila Hernández
- IA08** **Análisis del proceso de capacitación y su impacto en la productividad de las empresas regionales.** IA-66
L.A. Viñas Meza, P. Ochoa Trujillo
- IA09** **Estudio de mercado para la creación de un restaurante en H. Matamoros, Tamaulipas** IA-76
A.C. Hernández Rodríguez, C.G. Ocegueda Mercado, J. G. Rodríguez Martínez, M.A. Medina Álvarez.
- IA10** **Metodología para la determinación del precio de venta en las MyPES del Turismo Rural Poblano** IA-84
D. Gómez Bonilla, G. Mejía Méndez, L.E. Hernández Galindo.
- IA 11** **El papel de la mujer en la meliponicultura de la región sur del estado de Yucatán** IA-94
F.Y. Parra Argüello, R.A. Navarrete Canté, A.J. Leal Osorio.
- IA 12** **Herramientas de manufactura esbelta aplicadas en una micro empresa comercializadora ubicada en Orizaba, Veracruz.** IA-104
Giovanna Gabriela Benítez Juárez, Marcos Salazar Medina , Gabriela Cabrera Zepeda, Nuria Ortega Peterson, Alma Gabriela Alcalde Pérez
- IA 13** **Gestión del proceso productivo de tilapia hacia la industria 4.0 en Atlixco, Puebla.** IA-114
Daniel Lara Vargas, Roberto Erik Rojas Jiménez, Víctor Genaro Luna Fernández

- IA 14** **Desafíos en la implementación de una feria artesanal por estudiantes del TecNM Campus Chilpancingo** IA-124
María Esther Durán Figueroa, Erika Oropeza Bruno, Kevin Salgado Alarcón, Fatima Lucero Alarcón Román , Luis Angel García Molina.
- IA 15** **Fintech en programas de apoyo para jóvenes, una alternativa para la inclusión en México** IA-133
Laura Verónica Herrera Franco, Omar Juárez Rivera, Yara Anahí Jiménez Nieto, Adolfo Rodríguez Parada, Edmundo Aguilar Campos.
- IA 16** **Detección de necesidades para desarrollar una app que mejore el servicio de taxis en Colima** IA-141
Rivas Lozano María Alejandra, Rodríguez Guzmán Xiomara Clementina, Castañeda Campos Bertha Lilia, Chávez Larios Jorge Alejandro
- IA 17** **Postcovid-19 vs Finanzas en los Micronegocios, una realidad del comercio informal** IA-148
Héctor Enrique Escobar Olguín, Cinthia Valeria Jordán Lara , Efraín Flores Calvillo.
- IA 18** **Plan de capacitación para el fortalecimiento de competencias en personal de una microempresa giro comercial** IA-156
A. López Barrales
- IA 19** **Análisis comparativo de dos momentos de Evaluación Avanzada del Desempeño y eficiencia en una empresa** IA-166
Rafael Rivera Rodríguez y María Cristina González
- IA 20** **Identificación de factores ambientales en los modelos de negocio de turismo sustentable** IA-176
E. Mendoza Ramírez, J. Garnica González, E. Cruz Coria, N. Escamilla Tobaoda
- IA 21** **Diversificación de mercados de exportación para los agricultores de brócoli del estado de Guanajuato** IA-184
P. Tamayo Contreras., C. Arias Castillo , M. L. Velázquez Morales , A. Gutiérrez Rodríguez, H. F. Gutiérrez Rangel
- IA 22** **Impacto económico de la industria turística. Análisis con el modelo input-output - Fletcher en Tlatlauquitepec** IA-192
Adán Sánchez García, Isabel Muñiz Montero, Carlos Muñiz Montero, Martín Neri Suarez
- IA 23** **Mejoramiento del proceso de barrido en las rutas 7 y 8 del Municipio de Orizaba, Ver.** IA-199
Ing. Stephanie García Juárez, M.C. Gabriela Cabrera Zepeda, Dr. Fernando Aguirre y Hernández, Dr. Eduardo Roldán Reyes, Dr. Guillermo Cortés Robles.
- IA 24** **Índices factoriales de competitividad, mercadeo y capital humano de las prácticas administrativas en mype suburbanas** IA-208
Luis Carlos Ortuño-Barba, Armando Heredia-González, Renato E. Ortiz-Saucedo, Ninivet S. Chiñas-Álvarez
- IA 25** **Análisis estadístico de parámetros de acuaponía para su transferencia tecnológica: Región lacustre de Pátzcuaro, Michoacán** IA-218
Laura Adame-Rodríguez, Martin Tapia-Salazar, Maricela Villanueva-Pimentel , Alejandro Soto-Castro

- IA 26 **La importancia de las estrategias de comercialización de la pimienta** IA-228
M. L. Ruiz Tejeda, P. L. Tejeda Polo, E. Juárez Martiñón,
- IA 27 **Retos en la inclusión educativa superior para personas con discapacidad en Colima-Villa de Álvarez, Colima.** IA-236
M.C. Pedraza Marín, M. Sánchez Losoya, J.C. Aréchiga Maravillas , X.M. Toscano Contreras , L.K. Ayala Nuñez.
- IA 28 **Sistema de Información Automatizado para Auditar Estándares y Certificaciones VTslp** IA-242
G. C. Rendón Sustaita, J. A. Domínguez Lopez, V. Rodríguez Avalos, H. A. Saavedra Hernandez, S. J. Mendoza Cerda
- IA 29 Percepción de los operadores turísticos acerca de los atractivos del departamento La Guajira, Colombia IA-251
E. Cardeno, N. Cardeno, D. Barreto, J. Jcardeno, W. Ramirez C.
- IA 30 **Modificación y actualización en plataforma de citas acorde necesidades operativas mediante asesoría del usuario final** IA-260
Andrés Uriel Callejas Ponce, Eduardo Fuentes Alvarez, Edgar Sandoval-García
- IA 31 **Diseño e implementación de una plataforma tecnológica enfocada al fortalecimiento de las competencias emprendedoras.** IA-270
T. López Venegas, G. Cabrera Zepeda, E.A. Romero Flores, F. Aguirre y Hernández. M. Panzi Utrera.
- IA 32 **Desempeño de las Mypes ante la contingencia sanitaria por Covid- 19 en H. Matamoros, Tamaulipas.** IA-280
N.A. Lozoya Jiménez, C.G. Ocegueda Mercado, M.A. Medina Álvarez, E. L. Contreras Ocegueda,
- IA 33 **Análisis descriptivo de los factores asociados a la capacitación de los servidores públicos municipales** IA-287
Contreras-Huerta, Sandra Patricia; Morales-Carrera, Uriel Alejandro; Castillo-Cedillo, Pedro; González- Pérez, Manuel
- IA 34 **Industria 5.0 y su relación con el factor humano, la tecnología y la gestión del conocimiento** IA-294
J. Carro-Suárez, S. Sarmiento-Paredes, V. Castro-López
- IA 35 **Propuesta metodológica sobre análisis del discurso: caso entidades de base tecnológica en el estado de Colima, México.** IA-301
O. Mares Bañuelos, A. Arcega Ponce, E. Macías Calleros, A. Cárdenas Villalpando, H. Moreno Zacarías
- IA 36 **Automatización de procesos administrativos con Tecnología web para optimizar los servicios de una empresa Potosina** IA-309
M. Gallegos López, D.F. Reynoso Hernández, B. Guerrero Vázquez, E. Cerda Rodríguez, M.A. Ceballos Gómez
- IA 37 **Impacto en las micro y pequeñas empresas de Tehuacán al establecimiento de la factura electrónica** IA-319
Renato Emilio Ortiz Saucedo, Luis Carlos Ortuño Barba, Armando Heredia González, Omar Alí Ortiz Arellano
- IA 38 **Liderazgo y Productividad Laboral en los trabajadores de las Unidades Económicas; caso Atlautla y Ozumba.** IA-326
A. Alonso Reyes, J.L. Marín Villanueva

- IA 39 La innovación desde la Plataforma Dimensions.ai** IA-336
Gisela Janeth Espinosa Martínez, Margarita Dávila Hernández , Samuel Garrido Roldán
- IA 40 Panorama de la certificación laboral de funcionarios públicos municipales como una estrategia hacia la profesionalización** IA-343
Carmen Araceli González Aspera , Rosa América Torres Tello , Elvia Hernández Castro.
- IA 41 App como herramienta de capacitación para la elaboración de estados financieros en las organizaciones.** IA-353
Dr. Juan Pedro, Benítez, Guadarrama, M. en I. Brenda Anahí Pérez Elizondo
- IA 42 Ciudades + B desde la perspectiva de los stakeholders externos** IA-362
Sainz Barajas Ma. Teresa de la Luz , Chiñas Valencia Juan José, Aguirre Alemán María Guadalupe, Clara Zafra Miguel Ángel, Reyes Sánchez María Fernanda
- IA 43 Las prácticas empresariales y su relación con la dimensión ambiental del desarrollo sustentable en la pyme textil** IA-373
S. Sarmiento-Paredes, J. Carro-Suárez, D. Nava
- IA 44 Planeación estratégica y gestión administrativa para impulsar el desarrollo en micros y pequeñas empresas comerciales.** IA-382
I. S. Zavaleta Arellanes, Y. Juárez Rivera , O. Rueda Serrano, E. Flores Gómez .
- IA 45 Modernización de gestión a servicios municipales por medio de soluciones web en la era post-Covid** IA-391
J. Robles Calderón, M.A. Aguilar Cortés, A. Pérez López, G. Robles Calderón, M. Aguilar Cortés
- IA 46 Sistema integral para evaluar el crecimiento de los equipos de alto desempeño** IA-400
María del Carmen Chacón Olivares, Mariana Rico Chagollan,
- IA 47 Políticas públicas basadas en los sistemas de soporte de decisiones espaciales FALORO** IA-410
M. L. López-Roa, R. Reyes-Valenzuela, I. G. Polanco-Valenzuela, A. P. Bórquez-López y D. Mayitorenna-García
- IA 48 Viabilidad económica para implementar secadores solares de café, en el municipio de Hueytamalco, Puebla.** IA-418
M. Martínez Demetrio, V. Millán Tinoco, J. León Báez,
- IA 49 Viabilidad económica usando plástico reciclado para elaborar esquineros utilizados en industria maquiladora de limón persa** IA-428
A.D. Hernández Vargas
- IA 50 Realidad emergente: Influencia de los factores psicosociales en la productividad humana** IA-438
N. Tass Salinas, R.E. Arcos Juárez, C.I. Rejón Castro, E. Macías Calleros
- IA 51 Características vinculadas a la RSU presentes en estudiantes de una IES en Veracruz, México** IA-448
B. Antonio Pacheco, M. B. Ordaz Hernández, A. Alonso Guillén, J. Soriano Feria
- IA 52 Formulación y evaluación de un proyecto de inversión para elaboración de uniformes deportivos de soccer** IA-455
L. Peraza Pérez, M. López Noriega, A. Contreras Avila, H. García Álvarez, L. Zalthen Hernández,

- IA 53 Tecnológico Nacional de México en Celaya**
Estudio de factores de riesgo psicosocial en médicos residentes de hospital
IMSS en zona bajo. IA-462
Eleazar de Jesús Ugalde Rodríguez, Mónica Lucia Reyes Berlanga, María Teresa de la Garza Carranza, Salustia Teresa Cano Ibarra, Laura Georgina Vázquez Lara de la Cruz.
- IA 54 Situación del Turismo de Reuniones en México** IA-472
Pulido-Balandra E.M. , Balandra-Aguilar, L. E., Martínez-Ramírez, V.
- IA 55 La participación de las mujeres en el ámbito empresarial en el municipio de**
Zacapoxtla IA-479
G. Mejía Méndez, D. Gómez Bonilla, L. Munguía Inés
- IA 56 Benchmarking de las redes sociales del TECNM campus Colima** IA-485
F.A. Velázquez , M.A Rivas, M.C. Pedraza , E.O. Paulino Y D.J. López ,
- IA 57 Una Aproximación a la Contextualización de la Investigación del Liderazgo M.** IA-493
Dávila Hernández, A. Martínez Guzmán, G.J. Espinosa Martínez, S. Garrido Roldán, M. Vargas Urbina
- IA 58 Bibliometría de efectos de la COVID-19 en el empleo de las micro y pequeñas**
empresas IA-502
J. Cruz Manzo, L.C. Ortuño Barba, F. Merlo Magaña
- IA 59 Diagnóstico de Competitividad Organizacional en una MiPyme de Orizaba,**
Veracruz. IA-512
N. Hernández Marroquín , M. Ponce San Juan ,G. Cabrera Zepeda , M. Salazar Medina F. Aguirre y Hernández
- IA 60 Implementación de la seguridad y salud en el trabajo en pymes del**
Departamento de La Guajira IA-523
Wendy Ramirez Cardeño; , Joice Cardeño Portela; Aslin Botello Plata; Mariluz Uribe Orrego; , Anyelica Delgado Cobo.

Aplicación de herramientas six sigma en una Pyme procesadora de salsas artesanales.

Ing. Irene Valencia Lagunes ¹, Dr. Marcos Salazar Medina ², M.C. Gabriela Cabrera Zepeda ³, Dr. Guillermo Cortés Robles ⁴, M.C. Maricela Gallardo Córdova ⁵.

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Instituto Tecnológico S/N 94330 Orizaba, Ver, México.

*valencialag@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

El presente trabajo muestra los resultados de la implementación de herramientas six sigma como estrategia para la mejora de una línea de producción en una empresa procesadora de salsas artesanales. La metodología empleada consta de cuatro etapas: a) Ejecución de un Diagrama de Pareto para permitir la identificación de las principales causas de las quejas de clientes, b) Ejecución de un Diagrama de causa y efecto a fin de localizar la causa raíz del problema y el establecimiento de un plan de trabajo para llevar a cabo las mejoras pertinentes, c) Ejecución de un Diseño de experimentos para detectar factores y/o variables a controlar en el proceso y asegurar la calidad del producto y d) Análisis de los resultados obtenidos.

Los resultados de la implementación permiten visualizar cómo a través del uso de dichas herramientas se logra la identificación de la causa raíz del problema y se establecen planes de mejora enfocados en la administración del proceso de producción que a su vez contribuirán a mejorar la calidad del producto y a disminuir las quejas de clientes.

Palabras clave: six sigma, estrategia, mejora continua, línea de producción.

Abstract

The present work shows the results of implementing six sigma tools as a strategy for improving a production line in a company that processes artisanal sauces. The methodology used consists of four stages: a) Execution of a Pareto Diagram to allow the identification of the main causes of customer complaints, b) Execution of a Cause and Effect Diagram in order to locate the root cause of the problem and the establishment of a work plan to carry out the pertinent improvements, c) Execution of a Design of experiments to detect factors and/or variables to control in the process and ensure the quality of the product and d) Analysis of the results obtained.

The results of the implementation allow visualizing how using said tools the identification of the root cause of the problem is achieved and improvement plans focused on the administration of the production process are established, which in turn will contribute to improving the quality of the product. and reduce customer complaints.

Key words: six sigma, strategy, continuous improvement, production line.

Introducción

En México existen 4.7 millones de unidades económicas de las cuales el 99.8% son Pymes y generan el 52% de los ingresos. [1]

Las Pymes tienen una importancia relevante en la economía nacional, no sólo por sus aportaciones a la producción y distribución de bienes y servicios, sino también por su flexibilidad para adaptarse

a los cambios y a su gran potencial para la generación de empleos. Hoy en día representan un excelente medio para impulsar el desarrollo económico del país. [2]

A pesar de que son una fuente importante de la economía del país, desafortunadamente la mayoría cuenta con recursos limitados para desarrollar mejoras en sus procesos y desconocen de metodologías de mejora continua, centrándose únicamente en producir y aumentar sus ventas, descuidando así sus procesos y la calidad de sus productos y servicios.

Tal es el caso de una Pyme ubicada en la ciudad de Córdoba, Veracruz, dedicada a la fabricación y comercialización de salsas artesanales, la cual ha logrado posicionar sus productos con gran éxito en todo el Estado de Veracruz, siendo reconocidos como la variedad de salsas de gran sabor y calidad más emblemáticos de la zona centro del territorio veracruzano.

Actualmente la empresa presenta problemas de quejas de clientes de uno de sus productos líder “salsa de chipotle”, mismas que no se han analizado y gestionado adecuadamente, lo cual puede ocasionar problemas a futuro como la pérdida de clientes y la disminución de sus ventas.

El objetivo de este trabajo es mostrar cómo a través de la implementación de herramientas six sigma es posible analizar las quejas e identificar la causa raíz para establecer planes de mejora enfocados en la administración del proceso de producción que a su vez contribuirán a mejorar la calidad del producto y a disminuir las quejas de clientes.

Six Sigma es una metodología de mejora continua enfocada en la gestión y organización empresarial que proporciona herramientas para mejorar los procesos de las empresas, entiéndase por proceso a la unidad básica de la mejora y éste puede ser tanto de productos como de servicios.

Esta metodología busca mejorar y optimizar los procesos (productivos o no) de manera que se logre tener una metodología estandarizada y común para todos los integrantes de la compañía.

Six Sigma hoy en día constituye un modelo de gestión de calidad también conocido como DMAIC (definir, medir, analizar y mejorar) y es el sistema de gestión empresarial de más rápido crecimiento en la industria, se le atribuye el ahorro de miles de millones de dólares para las empresas que lo han implementado desde principios de la década de los noventa. [3]

Las herramientas de la metodología six sigma pueden ser implementadas de manera independiente y constituyen una excelente alternativa para la solución de problemas dentro de las organizaciones. Para fines del presente trabajo se describirán brevemente las herramientas empleadas para la mejora del proceso en cuestión.

Diagrama de Pareto.

Se reconoce que más de 80% de los problemas en una organización se dan por causas comunes, es decir, se debe a problemas o situaciones que actúan de manera permanente sobre los procesos. Pero, además, en todo proceso son pocos los problemas o situaciones vitales que contribuyen en gran medida a la problemática global de un proceso o una empresa. Lo anterior es la premisa del diagrama de Pareto, el cual es un gráfico especial de barras cuyo campo de análisis o aplicación son los datos categóricos, y tiene como objetivo ayudar a localizar los problemas vitales, así como sus principales causas. Se centra en la idea de que cuando se requiere mejorar un proceso, el enfoque sea sólo en los problemas de mayor impacto.

Su viabilidad y utilidad se respalda por el llamado principio de Pareto, conocido como “Ley 80-20” en el cual se reconoce que pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%), y el resto de los elementos propician muy poco del efecto total. [4]

Diagrama de causa y efecto.

El diagrama de Ishikawa o diagrama de causa y efecto es una herramienta que consiste en una representación gráfica que permite visualizar y analizar las causas de un determinado problema. La importancia de este diagrama radica en que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis y, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas. [4]

Diseño de experimentos

El diseño de experimentos DOE (por sus siglas en inglés) es una herramienta empleada como un método de trabajo para conocer un proceso determinado y estudiar las variables que tienen influencia en las características de calidad de interés de este, logrando optimizar su desempeño.

Un diseño de experimentos es muy útil para descubrir las variables clave que tienen influencia en las características de calidad de interés del proceso. Es un método para variar en forma sistemática los factores controlables del proceso y determinar los efectos que tienen esos factores en los

parámetros finales del producto. Permite reducir la variabilidad en la característica de calidad y en determinar los niveles más adecuados de los factores controlables que optimicen el desempeño del proceso.

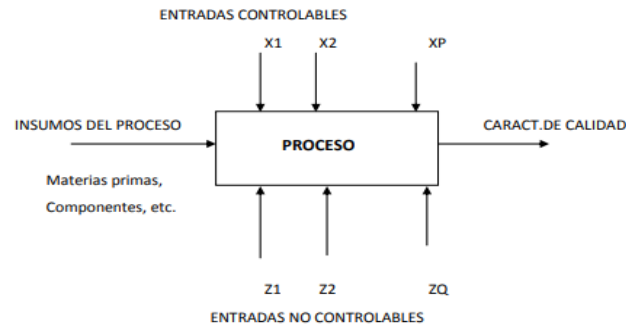


Figura. 1 Proceso de producción, entradas y salidas. Reyes, 2008.

El principal método para diseñar experimentos es el diseño factorial, en el cual los factores son variados de tal forma de probar todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores. El diseño de experimentos es una herramienta fuera de línea es decir se utiliza durante el desarrollo o mejora de los productos o procesos, más que durante su fabricación. [5]

Metodología

La metodología empleada en el presente trabajo es una metodología de creación propia tomando como referencia el proceso DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar). [6]

Se desarrolla en cuatro etapas descritas a continuación:

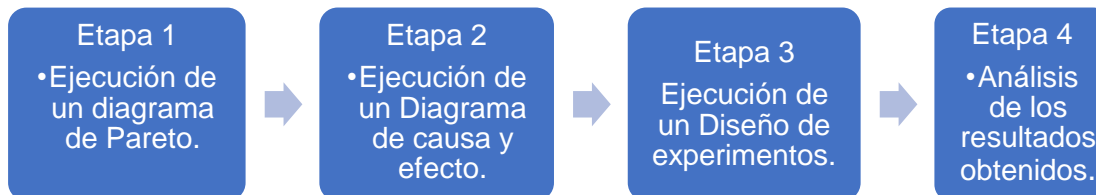


Figura 2. Metodología. Elaboración propia.

Etapa 1: Ejecución de un Diagrama de Pareto

Llevar a cabo la identificación de los principales motivos de las quejas de clientes y sus causas mediante un análisis de estas.

Etapa 2: Ejecución de un Diagrama de causa y efecto

Localizar las principales causas que originan las quejas de los clientes y establecer un plan de trabajo para eliminarlas.

Etapa 3: Ejecución de un Diseño de experimentos

Realizar un diseño de experimentos con el objetivo de detectar factores y/o variables a controlar en el proceso para asegurar la calidad del producto.

Etapa 4: Análisis de los resultados obtenidos

Analizar los resultados obtenidos en las tres etapas anteriores para establecer el trabajo a futuro.

Resultados y discusión

Se aplica la metodología de acuerdo con las etapas previamente establecidas, dando como resultado lo siguiente:

Etapa 1: Ejecución de un Diagrama de Pareto

Se lleva a cabo un análisis de causa raíz empleando un Diagrama de Pareto con el objetivo de localizar los principales motivos de las quejas de clientes y sus principales causas.

Para dicho análisis se determinó analizar las quejas correspondientes al producto “salsa de chipotle” de los últimos tres años, las cuales se enlistan en la siguiente tabla:

QUEJAS	TOTAL
Calidad del producto(consistencia)	5
Servicio al cliente (Retraso en entregas)	4
Calidad del producto (defectos envase)	2
Producto roto y/o dañado	1

Tabla 1. Quejas 2019-2021. Elaboración propia.

En el periodo correspondiente a los años 2019-2021 se tuvieron un total de 12 quejas de clientes, de las cuales 7 fueron por la calidad del producto.

A continuación, se presenta el Diagrama de Pareto, en el cual se representan gráficamente las frecuencias y porcentajes de las quejas:

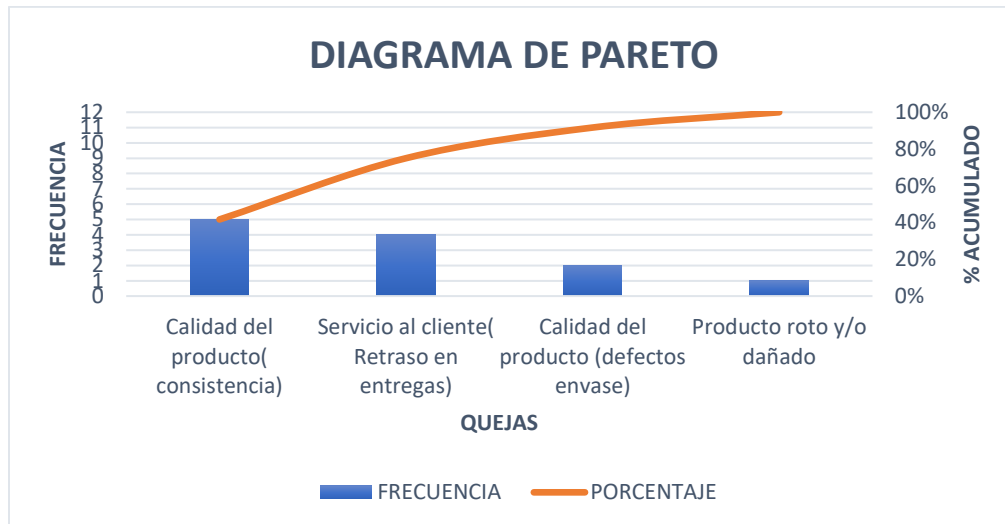


Figura 3. Diagrama de Pareto. Elaboración propia.

Como se observa en la figura 3, el 80% de las quejas se dan por la calidad del producto y el servicio al cliente (retraso en las entregas).

Al analizar cada una de las quejas se detectó que las 7 quejas correspondientes a la calidad del producto 5 han sido específicamente por su consistencia, es decir los clientes detectaron al emplear el producto que su consistencia es más líquida que lo habitual, cabe mencionar que actualmente no existe un parámetro de calidad establecido para medir la consistencia del producto, por lo que las quejas únicamente son establecidas bajo el criterio del cliente.

Etap 2: Análisis de causa raíz empleando un diagrama de causa y efecto.

Se determinó que las quejas se deben principalmente a la calidad del producto(consistencia) y se llevó a cabo un análisis de causa y efecto, con el objetivo de identificar las causas principales de la variación en la consistencia del producto terminado.

Dicho análisis, se llevó a cabo en sitio y el equipo de trabajo se integró involucrando al gerente de planta, supervisor y a los dos operadores de la línea de producción.

Desarrollo del diagrama de causa y efecto:

Paso 1: Definir el efecto:

Se realizó una reunión con el gerente de planta, supervisor y operadores, con el objetivo de lograr definir el efecto para analizar sus causas y se determinó que el efecto es la variabilidad en la consistencia del producto terminado.

Paso 2: Trazar el diagrama y colocar el efecto.

Una vez identificado el efecto se traza el diagrama colocando las ramas principales de las cuáles se desprenderán las causas y el efecto previamente planteado, tal como se observa en la figura 4.

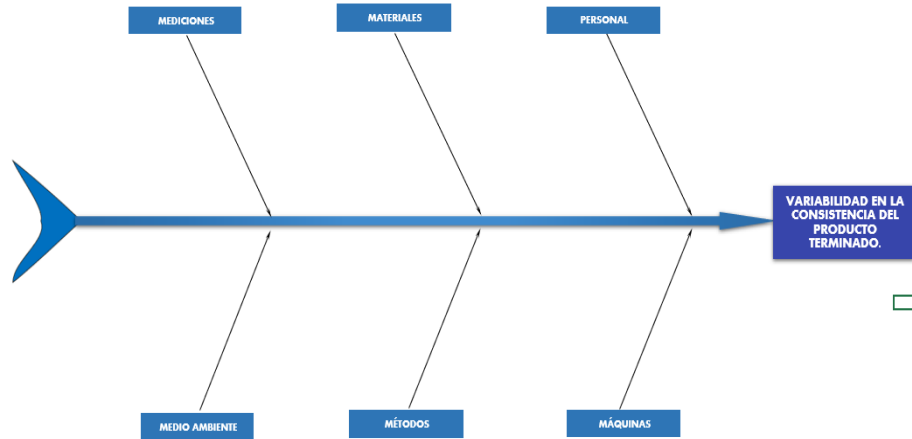


Figura 4. Trazo del diagrama de causa y efecto. Elaboración propia.

Paso 3: Identificar las posibles causas.

Para llevar a cabo este paso se determinó emplear la herramienta lluvia de ideas con el objetivo de que el equipo de trabajo lograra identificar las posibles causas que originan el problema.

Dicha lluvia de ideas se clasificó de acuerdo con las 6 M mediciones, materiales, mano de obra, medio ambiente, métodos y máquinas.

Paso 4: Identificar las causas principales.

Se llevó a cabo la identificación de las causas principales analizando detalladamente cada una de las posibles causas identificadas en la lluvia de ideas, de acuerdo con la clasificación previamente asignada. Una vez identificadas y seleccionadas se colocaron en el diagrama, el cual se muestra a continuación:

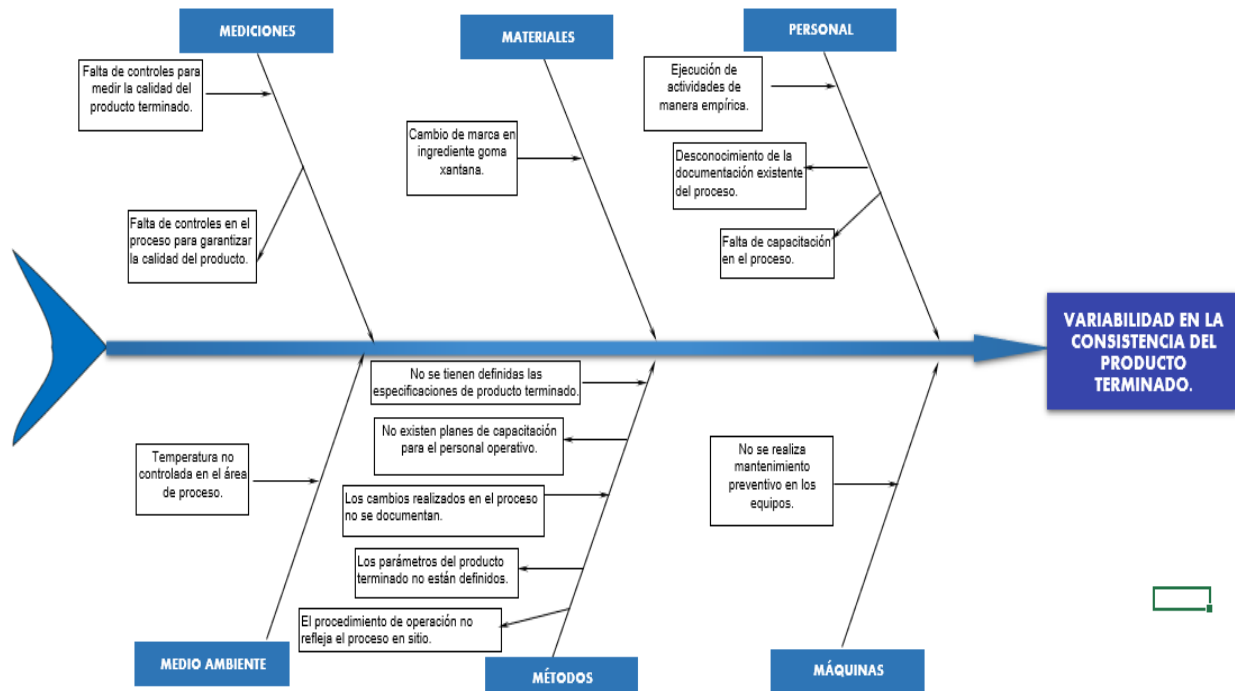


Figura 5. Diagrama de causa y efecto. Elaboración propia.

Paso 5: Enlistar todas las causas identificadas

Identificadas las causas se detallan en forma de lista quedando de la siguiente manera:

Mediciones:

- No existen controles adecuados para medir la calidad del producto terminado.
- No se tienen controles en el proceso que permitan garantizar la calidad del producto.

Materiales:

- Cambio de marca en goma xantana.

Mano de obra:

- Ejecución de actividades de manera empírica.
- Desconocimiento de la documentación existente respecto al proceso.
- Falta de capacitación en el proceso.

Medio ambiente:

- Temperatura no controlada en el área de proceso.

Métodos:

- No se tienen definidas las especificaciones del producto terminado.
- No existen planes de capacitación para el personal operativo.
- Los cambios que se realizan en el proceso no se documentan.
- Los parámetros del producto terminado no están definidos.
- El procedimiento de operación no refleja el proceso en sitio.

Máquinas:

- No se realiza mantenimiento preventivo en los equipos.

Paso 6: Establecer criterios para evaluar cada posible causa.

Se determina plantear cinco criterios con los cuales se evalúa cada posible causa para posteriormente determinar si es una causa raíz. Se analizó detalladamente la forma en cómo debía ser planteado cada pregunta en forma secuencial para lograr una correcta evaluación de cada causa. Los criterios fueron planteados en forma de pregunta de la siguiente manera:

1. ¿La causa identificada es un factor que lleva al problema?

Esta pregunta busca responder si la causa que se identificó es un factor que lleva al problema y debe ser respondida de acuerdo con el criterio del equipo de trabajo en base a lo observado en el proceso.

3. ¿La causa identificada ocasiona directamente el problema?

Esta pregunta busca identificar si la causa identificada ocasiona el problema planteado y debe ser respondida en base al criterio del equipo de trabajo.

4. ¿Si la causa identificada fuera eliminada se corregiría el problema?

En esta pregunta el equipo de trabajo debe analizar si la causa que identificaron fuera eliminada el problema sería corregido, es importante que en esta pregunta se analice detalladamente si es viable la respuesta.

5. ¿Es posible plantear una solución factible para dicha causa?

En este punto el equipo de trabajo analiza si existe una solución factible para eliminar la causa identificada.

6. ¿Sería posible medir si la solución fue efectiva?

En esta pregunta se plantea saber si es posible medir la solución planteada en la pregunta anterior. Una vez que se plantearon las preguntas se estableció una ponderación para los criterios a evaluar quedando de la siguiente manera:

1 cuando la respuesta sea SI y 0 cuando la respuesta sea NO.

Paso 7: Evaluación de las causas para determinar causa raíz.

Una vez establecidos los criterios a evaluar el equipo de trabajo llevó a cabo la evaluación de cada causa contestando cada una de las preguntas previamente planteadas y los resultados se muestran en la tabla 2.

CAUSAS	SOLUCIONES	CRITERIOS					TOTAL
		1	2	3	4	5	
Mediciones:							
No existen controles adecuados para medir la calidad del producto terminado.	Documentar un plan de calidad de medición.	1	0	0	1	1	3
No se tienen controles en el proceso que permitan garantizar la calidad del producto.	Establecer controles adecuados en las diferentes etapas del proceso	1	0	1	1	1	4
Materiales:							
Cambio de marca en goma xantana.	Pruebas con diferente marca.	0	0	0	1	0	1
Mano de obra:							
Ejecución de actividades de manera empírica	Capacitación al personal.	1	1	1	1	1	5
Desconocimiento de la documentación existente respecto al proceso	Capacitación al personal.	1	0	1	1	1	4
Falta de capacitación en el proceso	Capacitación al personal.	1	1	1	1	1	5
Medio ambiente:							
Temperatura no controlada en el área de proceso	Colocación de aire acondicionado.	0	0	0	1	1	2
Métodos:							
No se tienen definidas las especificaciones del producto terminado	Documentar especificaciones de producto terminado.	1	1	1	1	1	5
No existen planes de capacitación para el personal operativo	Desarrollar planes de capacitación.	1	1	1	1	1	5
Los cambios que se realizan en el proceso no se documentan	Documentar todos los cambios que se realizan en el proceso.	0	0	0	0	0	0
El procedimiento de operación no refleja el proceso en sitio	Actualizar procedimiento de operación.	0	0	0	1	0	1

Tabla 2. Evaluación de causa raíz. Fuente: Elaboración propia.

Paso 8: Resultados y conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación de las causas, se puede concluir que la causa raíz se centra en la ejecución de actividades de manera empírica derivado de la falta de capacitación al personal y de la falta de controles en el proceso y especificaciones en el producto terminado.

Por tal motivo se llevó a cabo la propuesta de plan de trabajo con el objetivo de eliminar las causas que están ocasionando el problema. Para el desarrollo de dicho plan se consideran todos los resultados mayores a 3 en la evaluación de las causas.

A continuación, se presenta la propuesta de plan de trabajo:

Acción	Avance	Fecha de inicio	Fecha final
Establecer controles adecuados en el proceso.			
Documentar los controles adecuados en el proceso en las diferentes etapas.	0%	01/07/2022	01/11/2022
Documentar especificaciones.			
Documentar especificaciones de producto terminado.	0%	01/07/2022	01/11/2022
Documentar especificaciones de materias primas.	0%	01/07/2022	01/11/2022
Documentar especificaciones de producto intermedio.	0%	01/07/2022	01/11/2022
Documentar especificaciones de materiales.	0%	01/07/2022	01/11/2022
Documentar procedimientos e instructivos de trabajo aplicables para el proceso.			
Documentar procedimiento de operación.	0%	01/07/2022	01/11/2022
Documentar instructivos de operación para cada etapa del proceso.	0%	01/07/2022	01/11/2022
Documentar procedimiento de Buenas prácticas de manufactura.	0%	01/07/2022	01/11/2022
Documentar procedimiento y plan de Limpieza y sanitización.	0%	01/07/2022	01/11/2022
Desarrollar planes de capacitación para el personal.			
Desarrollar plan de capacitación para el personal de nuevo ingreso.	0%	01/07/2022	01/11/2022
Desarrollar plan de capacitación anual para el personal.	0%	01/07/2022	01/11/2022
Capacitación al personal en todo lo relacionado al proceso (especificaciones, procedimientos, instructivos, etc.).	0%	01/07/2022	01/11/2022

Tabla 3. Plan de acción. Elaboración propia.

Etapa 3: Diseño de experimentos

Se detectó que la consistencia es una variable de calidad para la satisfacción del cliente actualmente y no se conocen los factores que están afectando dicha consistencia, se lleva a cabo un diseño de experimentos para encontrar los factores que afectan la calidad del producto.

Se establece como variable de calidad a la viscosidad. Una de las propiedades físicas más importantes de los fluidos es la viscosidad y su valor es muy utilizado como referencia en procesos industriales. Podemos definir a la viscosidad como la medida de la resistencia a fluir.

En el caso de la salsa de chipotle actualmente la norma que rige la elaboración de salsas no establece un valor para dicho parámetro, sin embargo, por las características del producto la viscosidad representa un parámetro crítico de calidad.

Para fines del presente trabajo el valor de referencia de viscosidad se determina en base a un estudio realizado en productos de la competencia.

La medición de la viscosidad en la salsa se llevó a cabo por medio de un instrumento de medición denominado "taza de viscosidad".

A continuación, se presentan las actividades que se llevaron a cabo en la fase del diseño de experimentos:

- Creación del diseño factorial.

Para la creación del diseño factorial se determinó llevar el proceso a nivel laboratorio en una escala 1: 100 quedando de la siguiente manera:

cantidad goma agregada (gramos)	tiempo de molienda: 5 minutos		tiempo molienda: 7 minutos	
	Cantidad de vinagre agregado(gramos)		Cantidad de vinagre agregado (gramos)	
	484	534	484	534
2.3				
2.5				
Variable de respuesta: Viscosidad	Factores: 3		Niveles: 2	

Tabla 4. Creación del diseño factorial. Elaboración propia.

- Validación del instrumento.

La validación del instrumento se llevó a cabo empleando un análisis R& R y los resultados se procesaron en el software estadístico

Los resultados indican que el instrumento de medición es un instrumento confiable con un Gage R & R de 27.25%.

- Ejecución de corridas del diseño de experimentos y análisis de resultados.

Se ejecutaron las corridas y una vez obtenidos los resultados se procesaron en el software estadístico. Se obtuvo el análisis de Varianza, el cual se muestra en la figura 6 y se llevó a cabo la interpretación de los datos.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	2840.75	405.82	10.18	0.002
Lineal	3	1545.50	515.17	12.92	0.002
GOMA	1	156.25	156.25	3.92	0.083
TIEMPO MOLIENDA	1	1369.00	1369.00	34.33	0.000
VINAGRE	1	20.25	20.25	0.51	0.496
Interacciones de 2 términos	3	1246.25	415.42	10.42	0.004
GOMA*TIEMPO MOLIENDA	1	1.00	1.00	0.03	0.878
GOMA*VINAGRE	1	20.25	20.25	0.51	0.496
TIEMPO MOLIENDA*VINAGRE	1	1225.00	1225.00	30.72	0.001
Interacciones de 3 términos	1	49.00	49.00	1.23	0.300
GOMA*TIEMPO MOLIENDA*VINAGRE	1	49.00	49.00	1.23	0.300

Figura 6. Análisis de varianza. Fuente: Software estadístico.

A continuación, se muestra gráficamente los resultados en los cuales se observa que los factores que más afectan la viscosidad son la combinación entre la cantidad de goma y el tiempo de molienda.

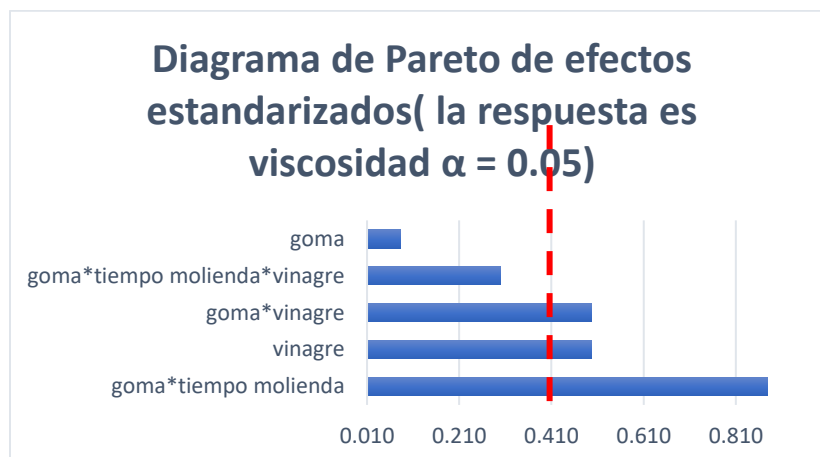


Figura 7. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los resultados obtenidos se encuentran los parámetros adecuados para que la línea de producción opere eficientemente y se logre la calidad requerida del producto terminado.

Etapas 4: Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos muestran que la causa raíz del problema se centra en la ejecución de actividades de manera empírica derivado de la falta de capacitación al personal y de la falta de controles en el proceso y especificaciones en el producto terminado.

Por tal motivo se llevó a cabo la propuesta de plan de trabajo con el objetivo de eliminar las causas que están ocasionando el problema. Se logró establecer planes de mejora que abarcan la parte administrativa y operativa del proceso: Documentación de especificaciones de materias primas, producto intermedio y producto terminado, procedimientos, instructivos de trabajo, planes de capacitación, etc., mismos que contribuirán a mejorar la gestión administrativa del proceso y la calidad del producto para disminuir las quejas de clientes.

Se logró la identificación de los principales factores que afectan la calidad del producto y se encontraron los parámetros bajo los cuales debe operar el proceso para asegurar dicha calidad, con esto se logrará el establecimiento de los controles adecuados en el proceso.

Trabajo a futuro

Actualmente se está trabajando en el desarrollo de gráficos de control en el proceso con los nuevos parámetros establecidos, así mismo se está desarrollando la documentación adecuada para que la línea de producción opere eficientemente y se produzca un producto con la calidad requerida. A largo plazo se espera la disminución de quejas de clientes.

Conclusiones

Las herramientas six sigma son una excelente alternativa para mejorar procesos tanto administrativos como operativos en las empresas y pueden ser aplicadas en cualquier empresa sin importar su tamaño.

Este trabajo permite visualizar como a través de la implementación de dichas herramientas se pueden mejorar los procesos productivos en una Pyme impactando de manera positiva en su fortalecimiento como una estrategia que permita a largo plazo aumentar la satisfacción del cliente.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo y las facilidades otorgadas por el Instituto Tecnológico de Orizaba en especial al área de posgrado de la maestría en Ingeniería Administrativa y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Referencias

- [1] INEGI, «INEGI,» 27 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.org.mx/programas/ce/2019>. [Último acceso: 12 Enero 2021].
- [2] C. Superior, «Comisión Estatal para la planeación de la Educación Superior,» 25 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.noticiascoepresgto.mx/the-news>.
- [3] R. Ester, «IEBS,» 21 Febrero 2021. [En línea].
- [4] G. H y D. I. V. R., Control Estadístico de Calidad y Seis sigma, México,D.F: Mc Graw Hill, 2019.
- [5] R. P., Control Estadístico de Procesos, Mexico, 2018.
- [6] B. Minetto, «Qualiex,» [En línea]. Available: <https://blogdelacalidad.com/que-es-dmaic/>.
- [7] C. G. I. & H. S. Sithole, «Evaluation of the applicability of design for six sigma to metal additive manufacturing technology.,» *PROCEDIA CIRP*, nº 100, p. 798-803, 2021.
- [8] R. F. L. S. F. S. J. F. N. & T. Pena, «Lean manufacturing applied to a wiring production process,» *Procedia MANUFACTURING*, pp. 1387-1394, 2021.
- [9] Nono, W. A. *Estandarización de procesos en la línea de producción de balanceado de pollo en la empresa molinos Anita para incrementar la productividad*. Riobamba,Ecuador: Universidad Nacional de Chomborazo.2018
- [10] PROMEXICO.Obtenido de PROMEXICO: <http://www.promexico.gob.mx/negocios-internacionales/pymes-eslabon-fundamental-para-el-crecimiento-en-mexico.html>.2014

Proceso Orientado al Individuo en Credenciales del INAPAM

Susana Flores¹, Lamia Hamdan², Silvana Flores³, Claudia Torrero⁴, Everardo Torrero⁵
¹Instituto Tecnológico de La Laguna y msflores@correo.itlalaguna.edu.mx, ²Instituto Tecnológico de La Laguna y lhamdanm@correo.itlalaguna.edu.mx, ³Instituto Tecnológico de La Laguna y smfloresb@correo.itlalaguna.edu.mx, ⁴Instituto Tecnológico de La Laguna y cjtorrerof@correo.itlalaguna.edu.mx, ⁵Instituto Tecnológico de La Laguna y everardo.torrero@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

La pandemia del COVID-19, puso en evidencia a los procesos centrados en la dependencia tanto públicas como privadas, al ser procesos centrados en la oficina en lugar del individuo. Algunas dependencias cerraron, otras atendieron vía correo electrónico y otras en forma presencial. En el caso de las credenciales INAPAM, que se otorgan a las personas mayores de 60 años, el proceso es presencial, y en el caso de Coahuila, los ciudadanos son atendidos cuando la dependencia cuenta con credenciales físicas.

Se pensó en un proceso centrado en el individuo que permitiera a los ciudadanos hacer su solicitud desde cualquier lugar con acceso a Internet y una computadora, la entrega de la credencial también se haría por medios digitales, sin necesidad de esperar a que se tuviera físicamente en la oficina, reduciendo costos y tiempos de espera. El proceso propuesto se apoya en una aplicación informática web para hacer llegar los documentos a la oficina de gobierno, estos se revisen por personal de la organización y si todo es correcto se envíe la tarjeta por medios electrónicos al interesado.

Palabras clave: Proceso orientado al individuo, Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Credencial del INAPAM.

Abstract

The COVID-19 pandemic exposed both public and private dependency-focused processes, as they are office-focused processes rather than the individual. Some dependencies closed, others attended via email and others in person. In the case of INAPAM credentials, which are granted to people over 60 years of age, the process is face-to-face, and in the case of Coahuila, citizens are served when the office has physical credentials. An individual-centered process was thought that would allow citizens to make their request from anywhere with Internet access and a computer, the delivery of the credential would also be done by digital means, without the need to wait for it to be physically present in the office, reducing costs and waiting times. The process is supported by a web computer application to send the documents to the government office, these are reviewed by the organization's personnel and if everything is correct, the card is sent electronically to the interested party.

Key words: Individual oriented processes, TICs, INAPAM credential

Introducción

La Administración Pública Federal cuenta con un organismo público descentralizado el cual regula la política nacional para los adultos mayores, su objetivo es coordinar, promover, apoyar, fomentar, vigilar, y evaluar las acciones públicas, estrategias y programas derivados de ella, en conformidad con las directrices de la Ley de los Derechos de las Personas Adultas Mayores. El organismo se llama Instituto Nacional de las Personas Adultas Mayores (INAPAM). Los adultos mayores reciben los servicios que presta el INAPAM de: delegaciones estatales, subdelegaciones municipales, coordinaciones municipales, clubes de la tercera edad a nivel nacional, centros culturales, unidades gerontológicas, centros de atención integral en la Ciudad de México, unidades móviles promotoras de servicio y empleo a la comunidad, departamentos de asesoría jurídica [1].

Un ciudadano de 60 años o más puede recibir los diferentes beneficios que proporciona el INAPAM, gestionando un documento, el cual se denomina “credencial INAPAM”. Para obtener la credencial es necesario presentarse en un módulo de afiliación con cuatro documentos: un comprobante de identidad, comprobante de edad, comprobante de domicilio y dos fotografías tamaño infantil. Su emisión no tiene ningún costo y el trámite se realiza en forma presencial [2]. Un adulto mayor de una ciudad de Coahuila puede solicitar su credencial en los módulos de afiliación en el DIF municipal [3]. Entre los beneficios y descuentos que pueden recibir los portadores de la credencial se encuentran: proveedores de alimentos, asesoría y servicios legales, educación recreación y cultura, predial y agua, salud, transporte, vestido y hogar [4].

A finales del año 2019 y principios del 2020, el mundo es alertado de una serie de eventos de neumonía, causados por un nuevo coronavirus. En el mes de enero del 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS) publica orientaciones técnicas con recomendaciones para todos los países en casos de esta enfermedad que llegaran a presentarse. Los primeros casos se reportaron en China a finales del 2019, a mediados de enero del 2020 ya se conocían casos fuera de China y en marzo del mismo año, la OMS previene de que la propagación de la enfermedad se pueda convertir en una pandemia [5]. El virus se propaga muy rápidamente en todo el mundo trastocando el orden social hasta ese momento. Muchas empresas cambiaron su forma de trabajar e interactuar con los clientes, otras cerraron temporalmente y otras permitieron a sus trabajadores hacerlo desde su casa. Las primeras personas en ser protegidas fueron las más vulnerables, es decir aquellas con enfermedades crónicas y aquellas con edad que superaba los 60 años. La Organización Internacional del Trabajo (OIT) ante la crisis generada por el COVID-19 hace un llamado para impulsar una recuperación centrada en las personas, inclusiva, sostenible y resiliente [6].

Actualmente el proceso de entrega de una credencial del INAPAM, se encuentra centrado en la dependencia que se encarga de otorgar la credencial. Éste consiste en los siguientes pasos:

1. El ciudadano asiste a la oficina encargada de otorgar las credenciales.
2. Si no hay credenciales tendrá que estar en contacto con la dependencia para que le informen el momento en que se cuenta con credenciales y regresar en ese momento.
3. Si hay credenciales y cuenta con los documentos mencionados en párrafos anteriores necesita acercarse a un módulo en donde se revisan los documentos y si se cumple con los requisitos, registrarse para obtener su credencial de INAPAM.
4. En el caso de la dependencia visitada, el espacio para recibir a la gente es limitado, por lo que se requiere de esperar fuera de la oficina, hasta que toca el turno para la entrega de la credencial. Las esperas varían, pero va de una hora a varias horas para la recepción y revisión de los documentos y emisión de la tarjeta en caso de que todo se encuentre en orden.

Ante esta situación y tratándose de personas mayores, las cuales se encuentran en una etapa de mayor vulnerabilidad, en la que se presentan: problemas sensoriales, deterioro general de la salud, problemas de nutrición y alimentación, problemas de sueño, problemas de incontinencia, conflictos mentales y salud mental, frustración ante situaciones inesperadas, miedo y desconfianza, reducción de la motricidad, soledad familiar y social; surge la pregunta de si será posible cambiar el proceso a uno que se centre en el adulto mayor que permita una entrega oportuna de la tarjeta, sin necesidad de ir a la oficina, ni regresar a la dependencia en caso de que no haya credenciales o falte un documento, así como de no hacer esperas largas en la intemperie.

Metodología

Tecnologías de la Información y Comunicaciones

La declaración de confinamiento forzoso de la población en marzo de 2020 por la OMS, dio pie a que se utilizaran las diferentes herramientas de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones para transformar procesos rígidos en procesos más flexibles en todos los sectores de la sociedad. En algunos sectores de alguna forma ya se contaba con algún método digital para atender algunos aspectos de los procesos del sector, sin embargo, con la pandemia fue obligatorio introducir las TIC's para continuar prestando servicios bajo nuevas formas y características; tal fue el caso de la educación, la salud, la economía, la educación [7].

Preparación

A partir de la pandemia COVID-19 en 2020, muchas empresas se vieron en la necesidad de repensar sus procesos de atención al público, ya que en algún punto del proceso se requería la presencia del ciudadano en la dependencia. La atención sería exitosa si el individuo cumplía con los requisitos que define la dependencia oficial y/o si la dependencia cuenta con los insumos para elaborar los documentos que entregará. Se visualizó crear un proceso basado en el individuo, el cual contemple que el ciudadano pueda solicitar la tarjeta desde la casa o desde cualquier otro sitio, sin que tenga que acudir de manera presencial a las oficinas para realizar el trámite. Los pasos que deberá de efectuar el ciudadano son:

1. Acceder al sitio web para solicitar la tarjeta INAPAM.
2. En el sitio se informará de los documentos que necesita proporcionar para recibir su tarjeta.
3. Es necesario registrarse en el sitio y contar con un correo electrónico al cual se le haga llegar la tarjeta.
4. Una vez que acceda al sitio podrá incorporar los documentos que se piden para emitir la tarjeta INAPAM.
5. La institución que emite la tarjeta revisa los documentos. Si están completos y se cumple con los requisitos, validará la emisión de la tarjeta, enviándola por correo electrónico al interesado. Si no cumple enviará correo indicando que falta para poder emitir el documento.

Para elaborar el sitio web, se invitó a cuatro alumnos de Ingeniería en Sistemas Computacionales, para que elaboraran un prototipo web para la emisión de la tarjeta INAPAM, que cumpliera con los puntos mencionados al inicio de la sección. Los alumnos hicieron el prototipo del sitio en el marco de la materia Taller de Investigación II, que se imparte en un semestre de la carrera.

Desarrollo

Para gestionar el desarrollo del proyecto se utilizó la metodología ágil Scrum, en vista de que diversos estudios han mostrado que es una metodología con respuestas rápidas para los clientes y exitosa en el desarrollo y entrega de proyectos de diferentes esferas. Se ha implementado en empresas de ámbitos tan diferentes como: media y telecomunicaciones, software, hardware, Internet, ERP, banca e inversión, sanidad y salud, defensa, aeroespacial, automotriz, juegos, educación. Es una metodología para trabajo colaborativo y en equipo para obtener los mejores resultados de un proyecto. Holtzbrinck Publishing Group usa Scrum en su departamento legal, para fortalecer las actividades estratégicas y operativas de su departamento. Google, Spotify y Apple basan su estrategia de negocio en desarrollo ágil, enfocándola en marketing centrado en el consumidor, con planeaciones flexibles dejando atrás campañas rígidas, promoviendo los cambios, respondiendo a los cambios en pequeños experimentos por encima de grandes campañas. KZI-Kaizenia también menciona el uso de metodologías ágiles en la política, en donde se presentan cambios en las preferencias muy rápidamente [8] [9] [10] [11].

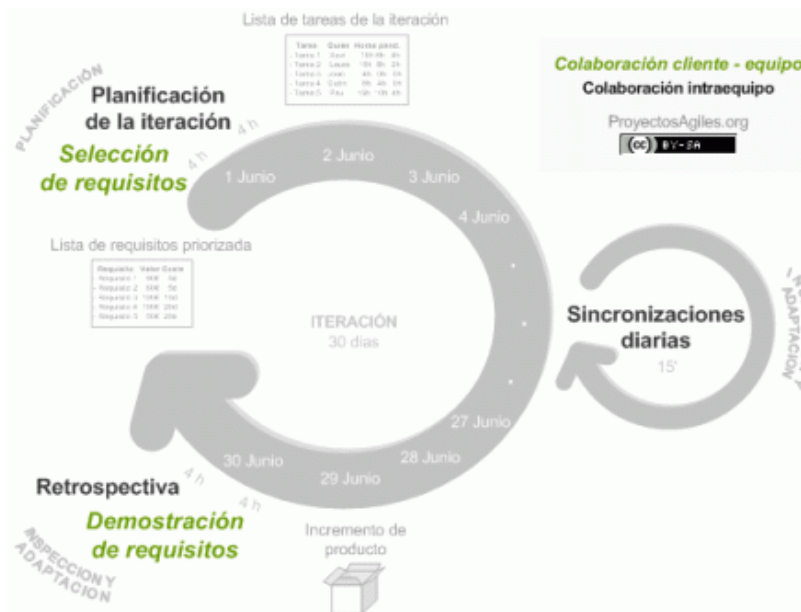


Figura 12 Proceso Scrum de una iteración (tomado de [11]).

El proceso Scrum se compone de iteraciones (*sprints*) o ciclos de duración corta. La iteración tiene que mostrar resultados entregables con mínimo esfuerzo al cliente. La selección de las actividades parte de la lista del producto la cual es priorizada por el cliente. El equipo se reúne para planificar la iteración, se seleccionan los requisitos y se pregunta al cliente aspectos que complementen los requisitos solicitados, después de ello el equipo elabora la lista de actividades, asigna peso a las tareas, se autoorganizan para llevarlas a cabo. Todos los días se reúnen para mostrar avances y actualizar el tablero scrum. El Scrum Master revisa que no existan obstáculos para alcanzar el objetivo o los objetivos de la iteración y en caso de que existan buscar la forma de superarlos. Antes de la entrega del producto elaborado en la iteración se hace una revisión del sprint con el cliente, en ese momento se puede plantear adaptaciones y replanificar el proyecto. El equipo realiza un análisis de la forma de trabajar por si algo es necesario cambiar y el scrum master tendrá la tarea de eliminar obstáculos que estén fuera del alcance del equipo de superar [11].

Scrum ayuda al equipo de trabajo y a las organizaciones a generar valor en soluciones adaptativas para problemas complejos, los roles que se encuentran en la metodología son; el *Scrum Master* o líder que guía la construcción de una etapa de la aplicación, esta etapa es seleccionada del product backlog, que en su definición participó el *Product Owner* o cliente. El *Scrum Team* o equipo de trabajo convierte los pendientes en un incremento del entregable. Al término del sprint todos los participantes revisan el incremento del producto y preparan el próximo sprint [12].

En la revisión anual que realiza digital.ai encontró que las empresas de desarrollo de software incrementan la distribución de su fuerza de trabajo, así como al trabajo remoto y que piensan continuar de esta forma aunque la pandemia termine. Los datos que obtuvieron indican que el 3% de las empresas planean el regreso a tiempo completo de sus empleados, el 25% permanecerán completamente en modo remoto y el 56% esta pensando en un modelo híbrido en donde los trabajadores regresan a la oficina, pero no de manera diaria [13].

Para el análisis, diseño y programación de la aplicación informática se utilizó el Proceso Unificado de Desarrollo, el cual no es una metodología ágil, sin embargo, cuenta con un conjunto completo de artefactos semánticamente ricos para todas las etapas de desarrollo de una aplicación informática, que permiten una mejor comprensión de lo que se está construyendo y permitirá un mantenimiento menos arduo al equipo de trabajo [14].

Resultados y discusión

Gestión del Proyecto

La metodología ágil Scrum se aplica al iniciar el proyecto, organizando al equipo de trabajo, se dedican unos días para que el equipo conozca la metodología Scrum, se prepara un sitio en Internet para alojar las evidencias que se generan en el desarrollo del proyecto y se establece la forma de comunicación para trabajar en equipo.

La lista de requisitos o el product backlog (Tabla 1) del proyecto es uno de los primeros artefactos en que se trabaja. En ella no solo se muestran los pendientes para realizar la aplicación informática, también se muestran todas las actividades que se les pidió realizar a los alumnos para cumplir con las competencias del curso.

Tabla 1. Lista de requisitos o product backlog.

Pendientes
Revisión de proceso actual para entrega de credenciales
Propuesta de nuevo proceso
Dar formato al documento de investigación
Crear carpeta en la nube
Instalación de herramientas de desarrollo de software
Crear la aplicación
Documentar Resultados
Elaborar los productos de investigación

Se necesitaron seis sprints para completar la lista de requisitos (Tabla 1). En cada sprint se documentaron los pendientes en los cuales había que trabajar para avanzar en el proyecto, así como en la documentación del informe de investigación (Tabla 2). Se definieron los roles de los alumnos, Ellos definían quien sería el Scrum

Master del sprint, quién participaría en las actividades pendientes, como y cuando se comunicarían para revisar los avances y hacer el reporte del sprint.

Tabla 2. Sprint # 3.

Pendientes	Participantes/ Líder (Scrum Master): Carlos Vázquez	Valor visible/ Hrs. Hombre utilizadas	Pendiente	En proceso	Hecho
Ingeniería de requerimientos del sistema	Todos	Grande / 4 hrs.			X
Diagrama de casos de uso de la aplicación	Todos	Grande / 4 hrs.			X
Instalación de herramientas que se usaran para desarrollar la aplicación	Marcos Saucedo	Mediana / 3 hrs.			X
Describir casos de uso en formato breve	Todos	Grande / 8 hrs.			X

La tabla de pendientes del sprint se acompaña con el sprint diario, en el cual se responden las siguientes preguntas:

- ¿Qué hiciste ayer para ayudar al equipo a terminar el sprint?
- ¿Qué vas a hacer mañana para ayudar al equipo a terminar el sprint?
- ¿Qué obstáculos se interponen en tu camino o el del equipo?

Después de la respuesta a las preguntas del sprint diario se reportan los resultados del sprint. Los resultados que se solicitan son los que se obtuvieron de cada pendiente en la tabla del sprint.

Fueron varias las herramientas informáticas que se utilizaron. Al ser un proyecto realizado por estudiantes, se consideró usar herramientas de software de uso libre. Seleccionando aquellas que cumplieran con los estándares para que pudieran ejecutarse en servidores de Internet alojados en cualquier plataforma y que cualquier explorador de Internet fuera capaz de visualizar la aplicación. En la Figura 1, se muestran dos pantallas de instalación de las herramientas que se utilizaron para la programación de la aplicación, otros resultados se reportan también.

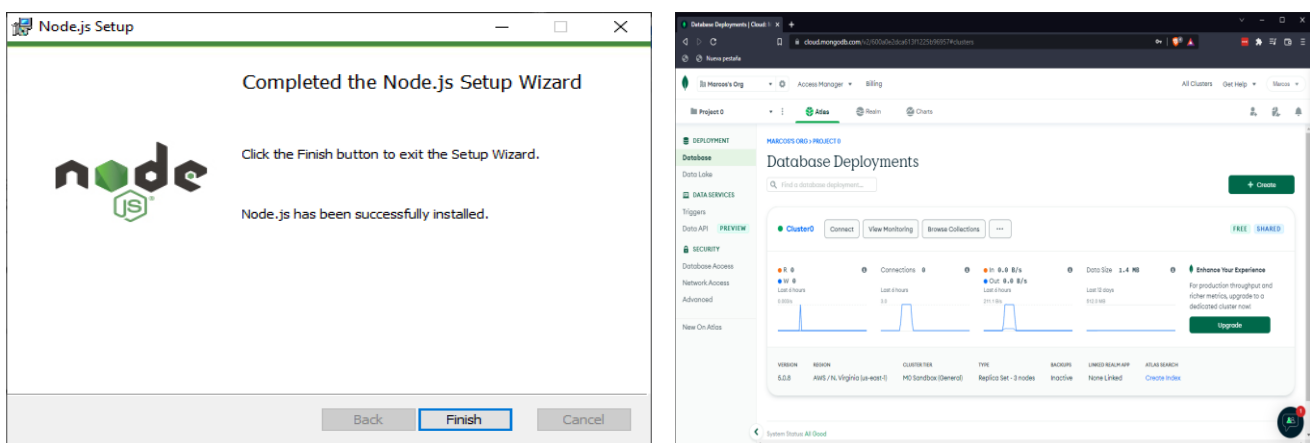
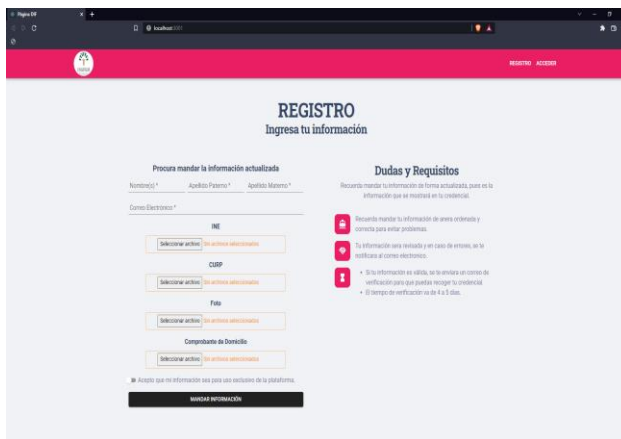


Figura 1. Evidencia de la instalación de herramientas para desarrollo de la aplicación informática.

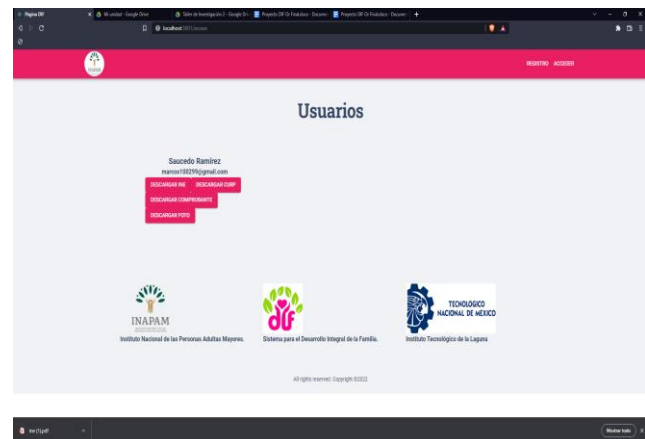
Resultados

La lista del producto o producto backlog definió la ruta a seguir para definir un proceso centrado en el individuo teniendo como núcleo del proceso una aplicación de software que puede ser utilizada desde cualquier lugar con acceso a Internet. El prototipo de la aplicación fue diseñado considerando los requisitos que las dependencias solicitan al ciudadano en forma presencial y que con la aplicación es posible hacer llegar por medios electrónicos a la dependencia; la dependencia los pueda revisar y si estos son correctos emitir una credencial la cual llega por correo electrónico al solicitante.

La lista del producto o product backlog definió la ruta a seguir para definir un proceso centrado en el individuo teniendo como núcleo del proceso una aplicación de software que puede ser utilizada por el solicitante de la tarjeta INAPAM, como por la dependencia desde cualquier lugar que cuente con acceso a Internet y una computadora. El proceso permite al ciudadano presentar su documentación sin necesidad de acudir a la oficina de la dependencia que otorga la credencial, además de que no necesita esperar a que la dependencia cuente con la tarjeta física para poder proporcionar el documento.



Ingreso a la plataforma



Descarga de archivos en plataforma

Figura 2. Pantallas de la plataforma digital para ingresar y descargar documentos.

Trabajo a futuro

Se definió un proceso centrado en el individuo, donde el núcleo del proceso es una aplicación informática. Se cuenta con un prototipo que requiere un servidor de la dependencia para alojar la aplicación o establecer un modelo de negocio de sociedad, asociar los usuarios de la dependencia que pueden revisar y dar el visto bueno para enviar la credencial al solicitante y definir el formato oficial de la credencial. Finalmente falta presentar el proceso a la dependencia de gobierno para su evaluación.

Conclusiones

La pandemia COVID-19, marca un momento en el cual una buena cantidad de procesos públicos y privados muestran su fragilidad al estar centrados en las dependencias y no en los individuos. Se genera la necesidad de realizar cambios en los procesos de las dependencias que permitan a los interesados realizar sus solicitudes de tal forma que su integridad física no se ponga en peligro como en el caso de una pandemia. Las herramientas que actualmente ofrecen las TICs, son una fuente de innovación para que los procesos se orienten al ciudadano y el proceso genere valor al disminuir tiempos de atención y costos en la emisión de documentos oficiales. La incorporación de las TICs en los procesos de las empresas genera presión para los desarrolladores de la aplicación, al desear el cliente su construcción en tiempo corto y que cumpla con todos los requisitos solicitados. El uso de Scrum permitió una comprensión de las necesidades que debería de proporcionar el nuevo proceso, así como construir una aplicación informática en un tiempo bastante razonable. La aplicación se puede utilizar en casa, en oficina, en cualquier lugar en el cual se cuente con Internet y una computadora, tanto por el interesado

como por la dependencia oficial, además de no contar con restricciones de horario; agrega valor al proceso ya que es más eficiente en la atención al público y realiza ahorros en los insumos que debe de aportar la dependencia para emitir la credencial.

¿Qué riesgos conlleva el utilizar una aplicación informática web? Se debe de contemplar que una aplicación informática ya sea local o por Internet, el servidor se puede dañar o las comunicaciones para su correcto funcionamiento, sin embargo, proporciona más beneficios que el problema que se plantea, ya que este puede ser solventado por el equipo técnico. Otros riesgos presentes se localizan en la persona con poca o ninguna habilidad digital, en la falta de equipo de cómputo al alcance del individuo, sin embargo, el ciudadano podrá apoyarse en un familiar, acercarse a una oficina gubernamental o a una empresa proveedora de servicios de Internet para recibir ayuda.

Por último, el pensar en procesos orientados al individuo en el caso de los adultos mayores, se justifican, no solo por la aparición de una pandemia, sino por el hecho de que las personas en esta etapa de la vida sufren de algún tipo de enfermedad o discapacidad que puede poner en riesgo el que acudan a oficinas de gobierno.

Agradecimientos

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México por su apoyo en el proyecto presentado en la Convocatoria: Proyecto de Investigación Científica Desarrollo Tecnológico e Innovación 2022.

Agradecemos a los alumnos: Marcos Misael Saucedo Ramírez, Carlos Alberto Vázquez Aguirre, Magdalena Hernández Aguilera, Jordan Jovani Carrillo Martínez por la construcción de la aplicación informática

Referencias

- [1] Gobierno de México, «¿Qué hacemos?,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/inapam/es/que-hacemos>. [Último acceso: 05 06 2022].
- [2] Gobierno de México, «Expedición de la credencial INAPAM,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/tramites/ficha/expedicion-de-la-credencial-inapam/INAPAM2791>. [Último acceso: 3 6 2022].
- [3] Gobierno de México, «Coahuila Módulos INAPAM,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/inapam/acciones-y-programas/coahuila-78957>. [Último acceso: 05 06 2022].
- [4] Gobierno de México, «Directorio de beneficios 2022 con credencial de INAPAM,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/inapam/acciones-y-programas/beneficios-test>. [Último acceso: 12 06 2022].
- [5] OMS, «Covid-19: Cronología de la actuación de la OMS,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news/item/27-04-2020-who-timeline---covid-19>. [Último acceso: 12 05 2022].
- [6] OIT, «Llamamiento mundial a la acción para una recuperación centrada en las personas,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.ilo.org/infostories/es-ES/Campaigns/covid19/globalcall#quote>. [Último acceso: 18 06 2022].
- [7] I. Guiot Limón, «Uso de las TICS en la educación superior durante la Pandemia COVID-19: Ventajas y desventajas,» *Interconectando Saberes*, vol. 6, n° 12, pp. 223-228, 2021.
- [8] S. I. Mariño y P. L. Alfonso, «Implementación de SCRUM en el diseño del proyecto Trabajo Final de Aplicación,» *Scientia Et Technica*, vol. 19, n° 4, pp. 413-418, 2014.
- [9] M. Hron y N. Obwegeser, «Why and how is Scrum being adapted in practice: A systematic review,» *Journal of Systems and Software*, vol. 183, 2022.
- [10] KZI-Kaizenia, «¿Donde puedo aplicar Scrum si es que no me dedico a proyectos?,» KZI-Kaizenia, 2022. [En línea]. Available: <https://kzi.mx/donde-puedo-aplicar-scrum-si-es-que-no-me-dedico-a-proyectos/>. [Último acceso: 26 08 2022].
- [11] proyectosagiles.org, «Historia de Scrum,» Proyectosagiles, 2022. [En línea]. Available: <https://proyectosagiles.org/historia-de-scrum/>. [Último acceso: 28 08 2022].

- [12] K. Schwaber y J. Sutherland, «The Scrum Guide,» Ken Schwaber and Jeff Sutherland, 2020.
- [13] digital.ai, «15th Annual State Of Agile Report,» digital.ai, 2021.
- [14] F. A. Manchego Peña, «Proceso Unificado de Desarrollo de Software RUP,» Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú, 2019.

Diseño de máquina desgranadora de pimienta

Miguel Aguilar Cortés^{1*}, María de Lourdes Ruíz Tejeda², Patricia Leonor Tejeda Polo³, Marco Antonio Aguilar Cortés⁴, Yazmin Colio Mateo⁵

¹Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, miguel.ac@teziutlan.tecnm.mx,

²Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, maria.rt@teziutlan.tecnm.mx,

³Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, patricia.tp@teziutlan.tecnm.mx,

⁴Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, marco.ac@teziutlan.tecnm.mx,

⁵Estudiante de posgrado del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, yazmincolio@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Se diseñó una máquina desgranadora de pimienta la cual tiene como finalidad el poder acelerar el proceso de desprendimiento de pedúnculos de los racimos de las plantas de pimientos; dicho proceso hasta ahora (en algunos lugares de cultivo) se realiza de manera manual, poniendo en riesgo la integridad de los agricultores por diversos factores. Considerando el estado del arte existente, se toman en cuenta algunas características necesarias para realizar la operación del desprendimiento de pimienta. Se analizó cuáles son los materiales óptimos dependiendo de la carga de trabajo a la cual se va a someter, juntamente con el motor de potencia adecuada para así realizar un análisis de esfuerzos que demuestran la efectividad del diseño sometido a cargas de trabajo. Los resultados fueron favorables para así poder realizar la producción de maquinarias a bajo costo y de gran rendimiento.

Palabras clave: Diseño, Máquina, Pimienta, Trabajo

Abstract

A pepper shelling machine is designed to accelerate the process of detaching the peduncles from the bunches of pepper plants; up to now (in some places of cultivation) this process is done manually, putting the integrity of the farmers at risk due to several factors. Considering the existing state of the art, some characteristics needed to carry out the operation of pepper detachment are taken into account. The optimal materials were analyzed depending on the workload to which it will be subjected, together with the appropriate power motor, in order to perform a stress analysis that demonstrates the effectiveness of the design subjected to workloads. The results were favorable in order to be able to produce low cost and high performance machinery.

Key words: Designer, machine, Pepper, Work

Introducción

Como menciona Chinchilla, Blanco y Castro [1], la pimienta negra (*Piper Nigrum*) es una de las especias de la familia de la Piperaceae y la más conocida por todo el mundo; es una planta perenne que dura mucho tiempo, nativa de la India que es uno de los principales productores de esta especie, en el continente americano el principal productor de esta planta es Brasil y es uno de los principales que importa a Estados Unidos.

El clima y el suelo que se recomiendan para el cultivo de la pimienta negra es en una zona tropical húmeda y se adapta a altitudes inferiores a 1.000 msnm; los mejores resultados se obtienen en altitudes inferiores a 600 msnm.

Requiere de un clima caliente y húmedo con precipitaciones anuales ya que no soporta periodos de sequía prolongados, la temperatura deberá de estar de entre 23 y 32 ° C y de humedad entre 60 - 95 % [2].

El suelo es de origen aluvial sueltos y con buen drenaje, por lo que los suelos arcillosos pesados e impermeables no son recomendados. Se recomienda un pH de 5,5, a 6,5 con buen contenido de materia orgánica. Deben ser suelos de excelente fertilidad natural.

Se prefieren terrenos ligeramente inclinados que tengan drenaje natural. También se puede sembrar en terrenos planos, pero bien drenados; en este último caso se debe sembrar en lomillos bien altos.

No se recomienda cultivar pimienta en donde se haya sembrado de algunas otras hortalizas que puedan afectar su crecimiento. También debe de evitarse sembrar la pimienta en lugares en donde los árboles se encuentren muy altos [3].

Para el cultivo de la pimienta se recomienda diferentes tipos de apoyo estos pueden ser un soporte o un tutor para su crecimiento pueden ser tutores vivos o soportes como los postes. Para los tutores vivos es recomendable los árboles de madero negro que se puedan podar y no compitan con la planta de pimienta, también se recomienda sembrarlos 3 o 4 meses antes de sembrar la pimienta ya que estos deberán de tener un tamaño ideal para que la planta de pimienta pueda apoyarse al tutor [4].

El tiempo en que tarda la cosecha es de 2 años después de la siembra, se considera máxima en el cuarto año, su rendimiento va desde los 1.600 a 2.000 kg/ha/año de pimienta seca pero puede producir hasta 4.000 kg/ha/año cuando se le brida el mantenimiento adecuado a la plantación y así la planta puede producir durante 6 a 8 meses al año. Las cosechas más importantes son producidas durante el tercer y séptimo año de vida de la planta de pimienta y la vida productiva de 1 a 2 kg puede ser de entre 15 a 20 años pero se aconseja que se renueven después de los 10 años.

Para la recolección de la pimienta es manualmente, se recomienda utilizar una escalera junto con un macuto o canasta [5]. Finalmente se procede a extraer la pimienta de los pedúnculos. Este proceso se realiza de forma manual y consta en colocarlos en sacos para posteriormente ser golpeados o a pisarlos para ejercer una fuerza que haga el desprendimiento; este proceso puede ser llevado a cabo antes o después del secado [6].

Este trabajo está enfocado en apoyo a los agricultores de la región de Hueytamalco, Puebla, quienes aun manipulan el proceso de desgranado manual, lo que ocasiona que los tiempos de producción sean grandes: derivado de la economía en esa región no es posible costear una maquinaria industrial y cuentan con la cantidad de materia prima para aprovechar el rendimiento máximo de las mismas.

Metodología

Estado del arte

Es importante destacar que existe máquinas desgranadoras de pimienta, las cuales cuentan con una capacidad de poder realizar trabajos de manera eficiente, en gran cantidad y en un tiempo determinado; sin embargo, considerando la región a la cual se quiere satisfacer, se vislumbra realizar un diseño que cumpla con los requerimientos tanto del lugar como de las personas, adecuando su carga de trabajo bajo el índice de producción que tienen. A continuación se describen un par de máquinas que son utilizadas en el país.

Desgranadora de pimienta

Máquina desgranadora de pimienta elaborada en la región de Coatepec, Ver., (figura 1). En la tabla 1 se puede mostrar algunas características de esta máquina. El proveedor no coloca el precio de venta dentro de su sitio web, sino solo da la información de operación de este dispositivo.

Tabla 1. Descripción de la máquina desgranadora de pimienta [7].

DESGRANADORA DE PIMENTA	
Capacidad	1,500 KG/H
Voltaje	110 — 220 — 440 V – 60 HZ
Equipo de control	Arrancador con botonera
Motor	3 Hp
Peso	140 KG
Material	Acero al carbón



Figura 1. Máquina desgranadora de pimienta

Máquina desgranadora de pimienta negra | Máquina de aplanamiento de cebada | Máquina aplanadora de sorgo
Algunas páginas web de venta de artículos, ofrecen maquinas que realizan el proceso de diferente, entre las cuales destacan la máquina desgranadora Longer modelos LG-20 y LG-30. Dicho modelo se encuentra entre los precios 620 y 680 US\$ (12471.24 a 13678.13 pesos mexicanos). La tabla 2 hace referencia a las características de operación de la máquina y la figura 2 muestran la estructura de la misma.

Tabla 1. Descripción de la máquina desgranadora de pimienta [8].

Modelo	Capacidad	Poder	Velocidad	Peso
LG-20	150-200 kg/h	2.2KW	400R/min	50Kg
LG-30	450-500 kg/h	3kw	450R/min	105kg



Figura 2. Máquina desgranadora de pimienta Longer.

Las máquinas existentes en el mercado, el precio mínimo que un agricultor tiene que invertir en una de estas es alrededor de 10,000.00 pesos mexicanos, aunque la capacidad de producción sea menos que la soportada por estos productos.

Diseño

El objetivo principal de este trabajo es poder ofrecer un diseño de calidad de una máquina desgranadora de pimienta, que pueda acelerar la preparación del producto en gran cantidad, en el menor tiempo posible. En la elaboración del diseño se utilizaron los softwares Sketchup®, SolidWork®, Autocad® y FreeCAD.

El diseño de la máquina se describe en 5 módulos, a saber:

- Módulo de bancada.
- Módulo de recepción de racimos.
- Módulo de Control.
- Módulo de Transmisión.
- Módulo de desgranado.

Cada módulo fue diseñado con especificaciones propias dependiendo de la normatividad vigente en México, considerando materiales acordes a la carga de trabajo a la cual estará destinada. En la figura 3 se puede apreciar la forma y medidas de la máquina.

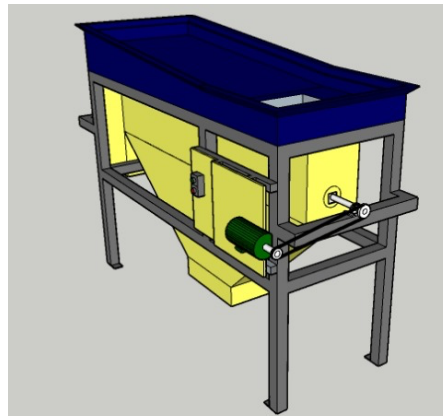


Figura 3. Diseño final de la máquina desgranadora.

Materiales propuestos

Con base a la NORMA Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009, se menciona los materiales más importantes considerados para la elaboración de esta máquina (mismos que serán evocados en cada apartado), a saber:

- Perfiles tubulares rectangulares (PTR) de acero al bajo carbono de 50.8 x 50.8 milímetros (mm).
- Electrodo como soldaduras.
- Pernos de anclaje de expansión para concreto de 95 milímetros con rondanas y tuerca.
- Loctite 262.
- Espárrago tensor de anclaje de 13 milímetros con rondana y tuerca de acero inoxidable.
- Lamina de acero inoxidable.
- Botonera de arranque y paro de 110v a 220v.
- Motor monofásico a 110v.
- Flecha de acero al bajo carbono de 1 pulgada.
- Poleas y bandas dentadas de 9.5 milímetros a paso ligero.
- Malla criba estandar de 3x3.
- 36 aspas.

Desarrollo

La máquina desgranadora, se compone de 5 secciones importantes:

- Módulo de Bancada

Este módulo es el pilar que sostendrá todo la maquinaria, la cual deberá estar construida por medio de perfil tubular rectangular (PTR) de acero al carbon de 50.8 x 50.8 mm, soldada por medio de electrodo, el cual tiene la capacidad de soportar grandes cargas y es resistente a las vibraciones dinámicas que pueda tener la máquina al momento de estar en función, soportando también la inercia que pueda adquirir el motor al momento de su actuación. Contará con 4 patas las cuales tendrán un barreno de 9.5 milímetros en la parte inferior para poder sujetarse completamente al suelo por medio de pernos de anclaje de expansión para concreto de 95 mm con rondana y tuerca de acero inoxidable con aplicación de loctite 262 para grandes esfuerzos. También se considera 4 orificios de 9.5 mm para poder ajustar el motor junto con el módulo de control y la bancada con esparrago tensor de anclaje de 13 mm con rondanas y tuerca de acero inoxidable. Para la sujeción del módulo receptor y de la desgranadora, se debe considerar tornillos de acero inoxidable de 13 mm pulgada con aplicación de loctite 262 para evitar deprendimiento de los mismos.

- Módulo de recepción de racimos de pimienta

Este módulo es la parte superior de la máquina y es la sección donde se colocarán los pedúnculos para poder ser desgranados; esta sección si bien no contendrá el producto final, se recomienda que sea de lámina delgada de acero inoxidable para cumplir con la norma en cuanto a maquinaria destinada a la industria alimenticia, teniendo como unión soldadura a base de argón. Dentro de la tolva, se considera también un ángulo de declibe que tiene como fin hacer más fácil la colocación de los racimos dentro del desgranado.

- Módulo de Control

Esta sección es donde colocará un botón de arranque y un botón de paro con los cuales se accionará y detendrá el motor al término del proceso. Por otro lado, en la sección de banca se escribió los orificios para poder sujetar el motor de ½ hp de potencia monofásico a 110v, mismo que será tensado por medio del espárrago descrito en el mismo módulo.

La figura 4 hace referencia los modulos mencionados anteriormente.

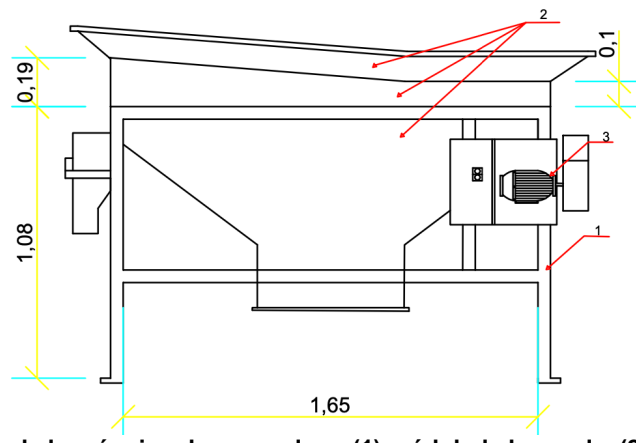


Figura 4. Diseño de la máquina desgranadora. (1) módulo la bancada. (2) módulo de recepción de pedúnculos. (3) Motor.

- Módulo de Transmisión

Esta sección es la encargada de transmitir el movimiento rotativo del motor a la flecha de material acero al bajo carbono de 25.4 mm de la cual cuenta con poleas dentada junto con la banda dentada de 9.5 mm a paso ligero; la flecha pasa por un cojinete lineal con anclaje para barras de 1 pulgada. Es evidente que faltan describir los elementos que estarán anclados a la barra de transmisión, sin embargo, esto serán especificados en el apartado de degranado. En la figura 4 se aprecia la localización del motor, en la figura 5 se aprecia dónde se localiza la polea y en la figura 6 la flecha que realizará la acción de desprender el producto de los racimos.

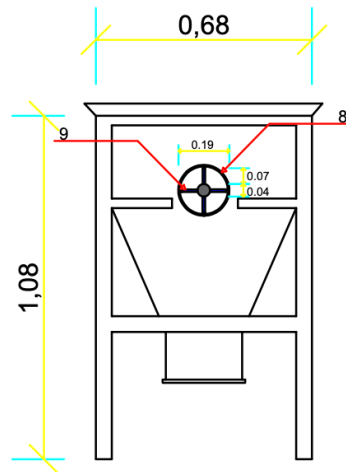


Figura 5. Posición de la polea (8) y sistema de transmisión (9)

- Módulo de desgranado

Adicionalmente se dispone de un módulo de desgrane (figura 6). Esta sección es la que realizará el desprendimiento de las semillas de pimienta de los pedúnculos que hacen que la cantidad de desgranado sea de 50 kg en un lapso de tiempo de 10 minutos, que además de beneficiar en el tiempo, en cubrir de mejor manera la demanda del mercado, posicionamiento del producto, permite tener un mejor control de higiene en el proceso, buscando la inocuidad alimentaria del producto al no ser manipulada y sometida al proceso manual que involucran actividades que en ocasiones no se encuentran normadas y que al estar expuestas a acciones que llevan a cabo las personas no existe un control de calidad adecuado. Las partes que acompañan este diseño son 36 aspas (9), 16 de cada lado, que se encuentran colocadas a un ángulo de 90° separadas por una distancia de 11 cm. Por otro lado, se considera una malla de criba estandar de 3x3 (8) la cual servirá de colador para poder separar los pedúnculos de las semillas de las pimientos: la malla de criba dispone de una colocación horizontal, en el interior del módulo de recepción, dispuesto de manera preferente en una zona próxima a la parte media del mismo, más preferentemente en una zona próxima a la parte media superior del módulo de recepción y en una distancia de 19 cm respecto de la parte superior del módulo de recepción, un marco perimetral que es el elemento que entra en contacto con las paredes internas del módulo de recepción. El material por el cual será realizado el chasis (11) es de lámina de acero inoxidable soldada por medio de argón. Finalmente, las semillas de pimiento caeran en una tolva predispuesta para poder colocar sacos o contenedores especiales para su recolección, esta tolva será del material antes mencionado.

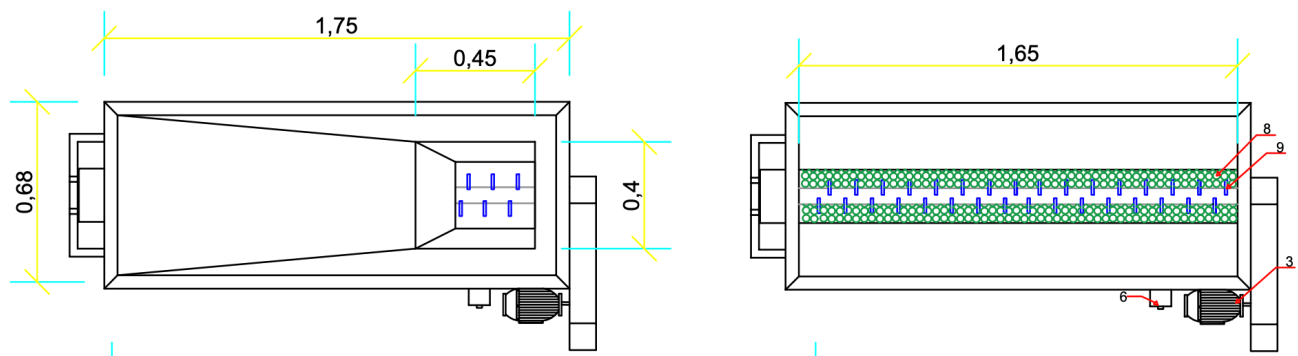


Figura 6. Módulo de recepción y de transmisión. Este último conformado por la malla criba(8), aspas no afiladas que ayudan a desprender el producto(9), el motor (3) y botonera de arranque y paro (6)

Resultados y discusión

Primeros resultados

De acuerdo con lo observado en la figura 7 se puede observar que dicho diseño fue sometido a un análisis de carga en tensión bajo un peso de 981 N equivalentes a una masa de 100 kg. Los resultados fueron tales que no presentó deformación que pueda causar que la máquina sufra algún daño.

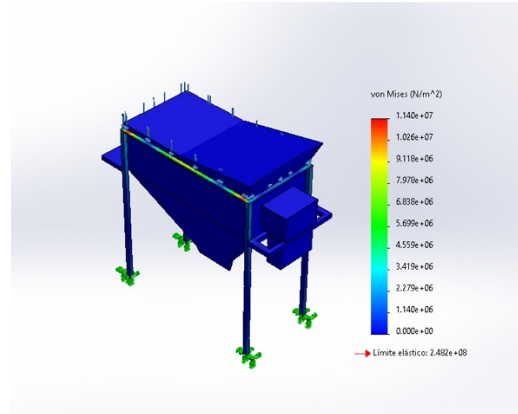


Figura 7. Análisis de tensiones de la máquina desgranadora, $0.000e+00\text{N/m}^2$ como mínimo y $1.140e+07\text{N/m}^2$ como máximo.

Segundos resultados

De acuerdo con lo mostrado en la figura 8 se muestra un análisis de desplazamientos que sufre la bancada que soportará toda la masa de trabajo, dejando en claro que si existirá un desplazamiento en la zona céntrica que de las barras de soporte, por lo cual fue necesario que tuviera el declive para aliviar la carga al momento de estar en trabajo.

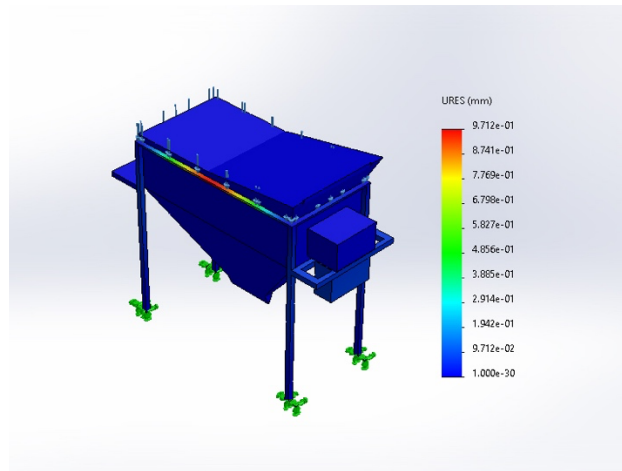


Figura 8. Análisis de desplazamientos de la máquina, $0.000e+00\text{mm}$ como mínimo y $9.712e-01\text{mm}$ como máximo

Terceros resultados

Finalmente se realiza un análisis de deformación unitaria (figura 9) la cual se presenta debido al esfuerzo realizado por los materiales sometidos a cargas; como se aprecia, no sufre alguna deformación que ponga en riesgo la estructura de la maquinaria.

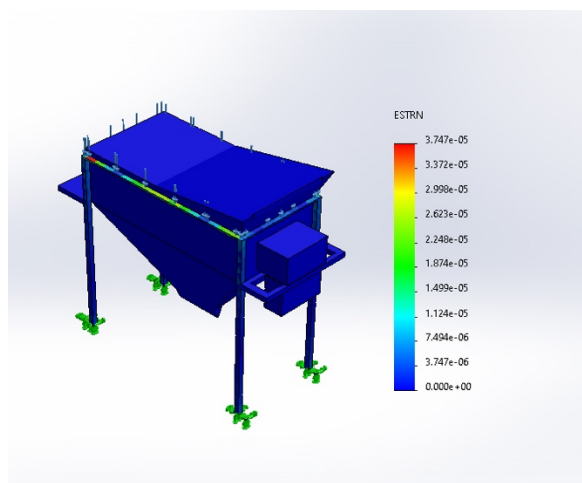


Figura 9. Análisis de deformación unitaria, 0.000e+00 como mínimo y 3.747e-05 como máximo.

Trabajo a futuro

Considerando el alcance que tiene el diseño de la máquina, existen aún áreas de oportunidad que deben tomarse en cuenta para poder llevar a cabo una implementación oportuna; se prevé anexar una cámara donde poder realizar, al mismo tiempo, el secado del fruto para que sea aún más rápido el proceso, así como la integración de una cámara de triturado de residuo orgánico para poder formar composta que, dependiendo los ingredientes que logren tener los racimos, se puedan implementar en otros sectores.

Conclusiones

Si bien existen máquinas que puedan hacer la tarea de desprendimiento de pimienta de pedúnculos, es cierto que no se ha llevado a cabo un análisis de la eficiencia que tiene, lo que lleva a pensar que solo se han realizado maquinarias sin considerar rendimientos, materiales y potencia necesaria para poder solventar, de manera responsable, las exigencias y, a la vez, necesidades que los agricultores tienen en cuanto a calidad y costos. Este diseño responde a las necesidades debido a su análisis que cerciora no implementar dispositivos que puedan ser costosos pero que aseguren el rendimiento al momento de trabajo. Este trabajo ofrece un diseño de maquinaria considerando las fuerzas que los agricultores de Hueytamalco, Pue. manipulan, misma que es de 50kg en promedio con la reducción de materiales y dispositivos de transmisión de fuerza rotativa lo que disminuye también el consumo eléctrico, manteniendo la eficacia de la productividad.

Agradecimientos

Se hace una especial mención y gratitud a los agricultores de la región de Hueytamalco, Puebla, quienes aportaron información esencial para el diseño de este dispositivo.

Referencias

- [1] G. Chinchilla Salazar, M. Blanco Meneses y Ó. Castro Zúñiga, «Identificación molecular y morfológica de las especies *Fusarium* spp., Asociadas al cultivo de pimienta negra (*Piper nigrum*) en Sarapiquí y Guatuso en Costa Rica,» *Agronomía Costarricense*, vol. 44, n° 2, pp. 09-30, 2020.
- [2] B. Mohan Kumar, B. Sasikumar y T. K. Kunhamu, «Agroecological Aspects of Black Pepper (*Piper nigrum* L.) Cultivation in Kerala: A Review,» *Agrivita Journal of Agriculture Science*, vol. 43, n° 3, pp. 648-664, 2021.
- [3] Issukindarsyah, E. Sulistyaningsih, D. Indradewa y E. T. Putra, «The effect of ammonium nitrate ratio and support types on the NPK uptaker and growth of black pepper (*Piper nigrum* L.) in field conditions,» *POLJOPRIVREDA*, vol. 2, pp. 25-33, 2021.

- [4] S. Ahmed M., S. Heba M., E.-T. Amira M., E.-S. Mohamed T., A. Sager S., E.-S. Ahmed M., A. E.-M. Taia A., T. Ayman E., A. Mohammed A., A. Ahmed Ezzat y S. Ayman A., «Biological control: An effective approach against nematodes using black pepper plants (*Piper nigrum* L.),» *Saudi Journal of Biological Sciences*, vol. 29, nº 4, pp. 2047-2055, 2022.
- [5] B. Y. F. Muñoz , «PRODUCCION MAS LIMPIA EN EL SECTOR INDUSTRIAL ALIMENTARIO, CASO DE ESTUDIO: PRODUCCION DE PIMIENTA,» Abril 2018. [En línea]. Available: <https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/2121/1/Yamileth%20Fernanda%20Muñoz%20Benavides.pdf>.
- [6] Proyecto promes, promoviendo mercados sostenibles., «Calidad en el cultivo de la Pimienta,» Gobierno de Costa Rica, s.f..
- [7] S. Tecnología e innovación, «Desgranadora de Pimienta,» 31 Julio 2019. [En línea]. Available: <http://www.solocafe.com.mx/wp-content/uploads/2019/07/DESGRANADA-DE-PIMIENTA-2.pdf>.
- [8] Alibaba Group, «Alibaba,» [En línea]. Available: https://spanish.alibaba.com/p-detail/Multifunction-1600453767531.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.11547afauMtJQw. [Último acceso: 27 Agosto 22].

Implementación de Software NovaQuímicos Para la Gestión de un Laboratorio de Pruebas Químicas

Mariana Victoria Gaytán-Ramírez^{1*}, Juan Manuel Solorzano-Román¹, Audry Gustavo Peredo-Lovillo²,
Francisco Erik González-Jiménez².

¹ Laboratorio de Determinaciones Químicas y Servicios Analíticos LADEQSA S.A. de C.V. Prolongación de Avenida Oriente 6, N° 1415, Colonia Miguel Alemán, cp 94340, Orizaba, Veracruz, México.

² Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Prolongación de Avenida Oriente 6, N° 1009, Colonia Rafael Alvarado, cp 94340, Orizaba, Veracruz, México.
franciscoqgonzalez02@uv.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

En el laboratorio LADEQSA S.A de C.V, debido a la demanda del mercado y a la competitividad que existe dentro de este, ha propiciado a utilizar una herramienta informática dirigida a la gestión de registro de muestras y consulta de resultados. El software NovaQuímicos siendo un software diseñado para laboratorios clínicos no se acopla de forma eficiente al laboratorio de pruebas químicas, por lo que es necesario diseñar el proceso de implementación, el cuál esté adaptado a las condiciones necesarias de la empresa. Por lo tanto, se utilizó un enfoque a procesos que permite implementar de forma eficiente para brindar un mejor servicio y calidad utilizando esta herramienta dentro de los procesos del laboratorio.

Palabras clave: Gestión, Project management, Calidad.

Abstract

In Ladeqsa Laboratory due to the market demand and the competitiveness that exist in it, has led to the use of an informatics tool directed to the sample record management and query results. The Novaquimicos software was originally designed as a clinic analysis software, that doesn't fit into industrial chemistry analysis, so then, it is necessary to develop the implementation process that can be adapt to the necessities of the laboratory. Therefore, a process approach was used that allows to efficiently give a better service and quality to the customer by using this tool in the laboratory processes.

Key words: Management, Project management, quality.

Introducción

El crecimiento de un laboratorio químico conlleva estar en continuo mejoramiento en todas sus áreas, para poder tener una mejor competitividad en el área química y tener una diferenciación con los demás. El no contar con una herramienta tecnológica específica que permita realizar de forma adecuada el control sobre los análisis y resultados, como consecuencia provoca errores en la información proporcionada al cliente final por ende insatisfacciones. Uno de los retos en los procesos diarios en el laboratorio es no interferir en los tiempos de entrega de resultados.

El poder mejorar los procesos internos a través de una solución informática para la correcta gestión de información, una solución que brinda la posibilidad de acceder a información actualizada desde cualquier lugar es una herramienta de importancia. Estos sistemas han ayudado a mantener un control, orden y disponibilidad de la información que se necesita dar a conocer a los usuarios. Acorde con la necesidad del laboratorio, contar con el monitoreo en tiempo real y seguimiento día a día con el cliente para apoyarlo en todo momento garantizando los resultados de óptimo desempeño del sistema para atender la problemática es fundamental.

La implementación del software NovaQuímicos, permite adaptarse a los requerimientos del laboratorio, en las diferentes áreas, teniendo como objetivo los resultados de los análisis, en donde los clientes pueden visualizar y consultarlos. Para llegar a esto se implementan los requerimientos del laboratorio mediante los diferentes planes estratégicos. En el presente proyecto se implementa un software enfocado a un laboratorio de análisis clínicos, para enfocar a un laboratorio de pruebas químicas, ejemplificando el ingreso del cliente al software utilizando desde la recepción de la muestra hasta el reporte de resultados, con los cambios implementados para la mejora de este.

Un laboratorio que evoluciona e incrementa su crecimiento requiere de una mejor gestión, haciendo uso de herramientas tecnológicas que suplanten aquellos métodos convencionales de mayor complejidad para su utilización y con más errores humanos. Los sistemas informatizados avanzados se encargan de disminuir los tiempos de respuestas, automatizando los procesos por lo tanto los hace más confiables [1].

Metodología

La presente investigación corresponde a una investigación de campo, este tipo de investigación se apoya en información que provino de entrevistas, cuestionarios, encuestas y observaciones. Basado en la metodología de Project Management, utilizando la séptima edición [2].

Se desarrolló en la empresa Laboratorio de Determinaciones Químicas y Servicios Analíticos LADEQSA o LADQSA S.A de C.V. Para llevar a cabo el proyecto se requirió de información proporcionada mediante entrevistas y reuniones con los directores de la empresa, que permitió conocer los procesos y métodos de trabajo ya establecidos dentro del laboratorio, así como conocer las áreas de oportunidad de mejora aplicadas al proyecto.

NovaQuímicos es un sistema informático de adquisición de datos de laboratorio, eficiente y dinámico, que permite al usuario generar bases de datos en las áreas de captura de muestras, catálogos, sistematizado de procesos, entrega y consulta de resultados para el control de procesos. Los usuarios pueden agregar y visualizar la información necesaria en el software, de esta forma conocer el estatus actual de los procesos y análisis de cada muestra que sea ingresada, de igual manera que la consulta de resultados y visualización de estos sea de forma más dinámica desde cualquier lugar.

Para poder llegar a la implementación se identificaron los planes de configuración necesarios.

Cada plan describe cómo documentar y nombrar las características de cada componente de configuración, ya que estos se identifiquen se ejecutan para obtener un control del proyecto.

En el caso de este proyecto se compone básicamente por los siguientes planes:

- Plan de gestión de cambios
- Plan de gestión de los riesgos
- Línea de base de costos
- Plan de mejoras del proceso
- Plan de gestión de los requisitos
- Plan de gestión de alcance [3].

Plan de gestión de cambios

Se establecieron las responsabilidades, para tener el control de las modificaciones que se van a ir generando en el proyecto. El presente es de aplicación obligatoria para la realización de cambios dentro del proyecto y deberá apegarse al mismo de acuerdo con las condiciones de trabajo todo aquel personal interesado y que esté involucrado en la realización de alguna actividad utilizando herramientas cómo lo son el ciclo de Deming y la matriz FODA [4].

Plan de gestión de riesgos

Un riesgo es una amenaza que se puede materializar sobre uno o más activos causando daños o perjuicios a la organización. Es un indicativo de lo que le podría pasar a los activos si no se protegieran adecuadamente. Es importante conocer los riesgos que pueden existir y saber qué características son de interés en cada activo, así como saber en qué medida estas características están en peligro, es decir, analizar el sistema [5].

Los riesgos generan impactos, este impacto puede ser relevante, moderadamente relevante o no relevante, para esto se requiere hacer una evaluación con la que se pueda determinar.

Línea base de costos

La presente tiene por objeto establecer los parámetros y estructuras de costos necesarios para que se elabore la línea base de costos, para cumplir con lo dispuesto en el proyecto, a fin de determinar las condiciones en las que se encuentran las variables de los costos para la implementación del proyecto. Pretende orientar a los interesados en la elaboración de los procesos cualitativos y cuantitativos necesarios para definir y presentar la línea base de costos, previo al inicio de las actividades del proyecto [6].

Plan de mejoras del proceso

Es de aplicación obligatoria para realizar cambios dentro del proyecto y se apega al mismo de acuerdo con las condiciones de trabajo todo aquel personal interesado y que esté involucrado en la realización de dicha actividad.

Plan de gestión de los requisitos

La empresa LADEQSA, dada la necesidad de la demanda actual del mercado los llevó generar a nuevos productos y servicios, como la optimización, control, operación, seguimiento de análisis y estatus de estos, la visualización de los resultados de laboratorio en tiempo y forma, para apoyarlo en todo momento garantizando los resultados de óptimo desempeño del sistema para atender la problemática existente.

En este proyecto los participantes y/o interesados tuvieron un nivel de participación de partidarios y líderes, en el caso de los asesores técnicos serán especialistas en su ramo, los cuales además de los interesados serán los que podrán implementar cada parte del proyecto.

Plan de gestión de alcance

El cliente obtuvo acceso al Software NovaQuímicos mediante un usuario y contraseña para el registro de datos de las muestras, provenientes de distintas áreas de operación, en el cual el cliente podrá registrar la información necesaria de sus muestras, así también poder dar el seguimiento de estas conociendo el estatus, si se encuentran siendo procesadas o si se encuentra listo su resultado, el cual podrá visualizar desde cualquier lugar, entrando a la plataforma con su usuario y contraseña o bien, desde un código de respuesta rápida, mejor conocido como código QR, por sus siglas en inglés Quick Response.

Desarrollo

Se definieron las responsabilidades de cada participante con respecto al plan de mejoras y cuál sería la función de cada uno de ellos, teniendo en cuenta las capacidades de cada uno, tanto el líder del proyecto, los directores de la empresa y los desarrolladores de software.

Líder del proyecto: Conduce las actividades diarias del proyecto, ejerciendo un control sobre resultados y plazos.

Directores de la empresa: Autoriza el presupuesto e interesado para la empresa, dando seguimiento a los avances del proyecto.

Proveedor de estructura de base de datos y administrador para la base de datos actual: Diseñador de la estructura autónoma de la base de datos. Entregar la aplicación en línea con autonomía para su operación por parte de un asesor externo y el cliente

Cliente: Utilizará el proyecto para su uso de gestión y análisis para la toma de decisiones.

Plan de gestión de los requisitos

Se conocieron los requerimientos de la empresa en la que se desarrolló el proyecto, la empresa LADEQSA, dada la necesidad de la demanda actual del mercado los llevó generar a nuevos productos y servicios, como la optimización, control, operación, seguimiento de análisis y estatus de estos, visualización de los resultados de laboratorio en tiempo y forma, para apoyarlo en todo momento garantizando los resultados de óptimo desempeño del sistema para atender la problemática existente.

Plan de riesgos

Conforme a lo evaluado con el plan de riesgos se ejecutó teniendo en cuenta los riesgos existentes dentro del proyecto, cómo se observa en la Tabla 1, primero teniendo en cuenta los componentes más importantes y los factores que conllevan teniendo un diagnóstico. [7].

Tabla 1. Componentes y factores de riesgos desarrollo

Componentes	Factores	Conclusión del diagnóstico
No ejecutar el software a tiempo	Humanos, tecnológicos y Calidad	Planificación inadecuada
No entregar los catálogos a tiempo	Humanos, tecnológicos y Calidad	Planificación inadecuada
Pérdida del presupuesto	Humanos, tecnológicos y Calidad	Planificación inadecuada
Cambios no funcionales	Humanos, tecnológicos y Calidad	Falta de comunicación con el desarrollador
Pérdida de clientes	Tecnológicos y Calidad	Falta de competitividad
Pérdida de información en el servidor	Humanos, tecnológicos y Calidad	No realizar suficientes respaldos

Adaptada de guía para la elaboración de la línea base ambiental previo al inicio de las actividades terrestres de exploración y extracción de hidrocarburos [8].

Plan de gestión del alcance

El cliente obtendrá acceso al Software NovaQuímicos mediante un usuario y contraseña para el registro de datos de las muestras, provenientes de distintas áreas de operación, en el cual el cliente podrá registrar la información necesaria de sus muestras, así también poder dar el seguimiento de estas conociendo el estatus, si se encuentran siendo procesadas o si se encuentra listo su resultado, el cual podrá visualizar desde cualquier lugar, entrando a la plataforma con su usuario y contraseña o bien, desde un código de respuesta rápida, mejor conocido como código QR, por sus siglas en inglés Quick Response [9].

Criterios de aceptación

El resultado del análisis de residual de inhibidor de corrosión visible para el cliente en línea y en formato PDF es el documento entregable del proyecto, el cual se basa en los criterios de aceptación del laboratorio.

Resultados y discusión

Primeros resultados

Informe electrónico de cambios:

Se describen los cambios a realizar en el software, siguiendo el formato anteriormente implementado, para tener un control de estos, se realizan de forma cíclica para ejecutar, cómo de describe en el ciclo de Deming. Siguiendo el siguiente formato:

Fecha:

Quién propone el cambio y firma el cambio:

Descripción y objetivo de este: Cambio de logo actual por el logo del laboratorio para tener una imagen de venta de posicionamiento, el logo actual debe quedar de un tamaño menor, tomando en cuenta que es su socio comercial debe aparecer con el copyright, apareciendo en la parte de debajo de la plataforma de la pantalla inicial la leyenda “desarrollado por Nova”.

Firma de verificación:

Firma de aprobación:

Fecha de recepción del cambio:

Comentarios u observaciones de quién realiza el cambio:

Aprobación del cambio:

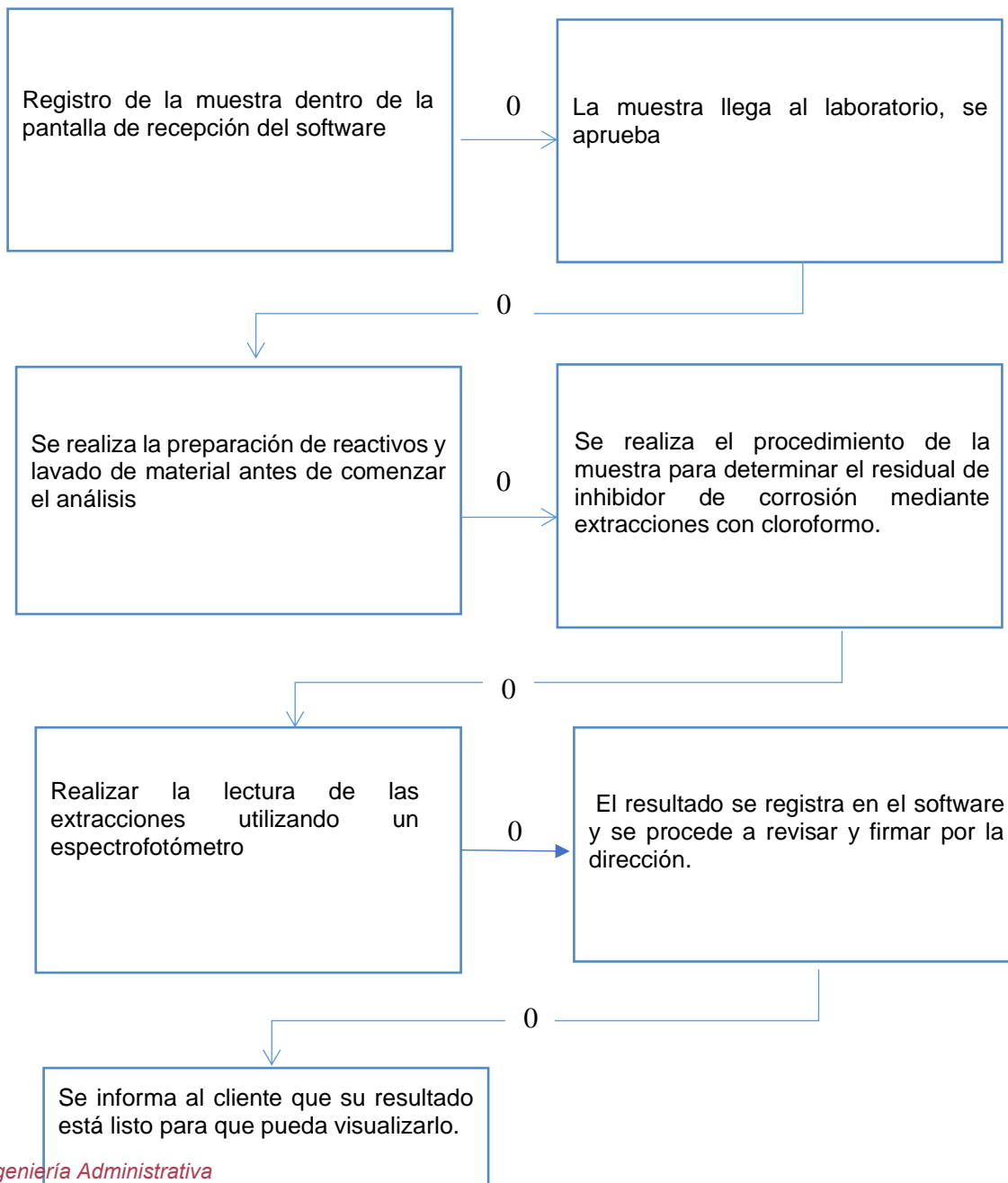
Fecha compromiso del cambio:

Si/No

Segundos resultados

Ruta crítica Residual del software

En la Figura 1 se visualiza la ruta crítica con el software implementado, en dónde el tiempo de holgura disminuye, cual es el objetivo de este.



Terceros resultados

Ingreso del cliente al Software

El cliente puede ingresar mediante el siguiente enlace <https://ladqsa.novaconnection.mx/login>, una vez que se encuentre en la plataforma principal del software, en dónde mediante un usuario y contraseña previamente asignados por el laboratorio podrá ingresar, cómo se muestra en la figura 2.




Figura 2 Ingreso del cliente al Software.

En el menú principal, únicamente tendrá acceso en la sección de ingresar información de la muestra, así como de consultar el reporte de resultados, ingresando el nombre del cliente y la fecha, cómo se muestra en la Figura 3.

Status	Folio	Folio Muestra	Estudio	Origen	F. Recepción	T. Alerta	T. Proceso	Días restantes	Des
Autorizado	220318010001	000019	Cloruros	Universidad Veracruzana	2022-03-18	2022-03-19 (1-N)	2022-03-20 (2-N)	0 días	

Figura 3 Ingreso del cliente al Software.

El reporte de resultados en formato PDF listo para su impresión o descarga y entrega al cliente, este puede ser visualizado directamente, cómo se muestra en la figura 4, el reporte de resultados contiene los datos ingresados en la pantalla de recepción y en un formato entendible para el cliente, dicho reporte se encuentra en hoja membretada del laboratorio, con los datos de este y los cambios implementados en el plan de mejoras, conforme a las necesidades del laboratorio y los requerimientos del cliente.



Matriz
INFORME DE RESULTADOS
 Laboratorio de determinaciones químicas y servicios analíticos LADEQSA

O&O TECH S. de R. L. de C.V.
 Beirut 49, fraccionamiento Lomas de Sinaí, Reynosa Tamaulipas.
 Reynosa, Tamaulipas.
TELÉFONO: 8331008544

Fecha de Muestreo	2022-01-14	Fecha de Recepción	2022-01-18	F. Inicio Análisis	2022-01-18	Fecha de Informe	2022-01-21
Hora de Muestreo	12h 00min	Hora de Recepción	17h 43min	F. Término Análisis	2022-01-18	Hora de Informe	12h 24min

Nombre de la muestra: 000004

Marca comercial	S/R	Descripción muestra	Salmuera	Tipo Empaque	Frasco de plástico
Temperatura	S/R	Peso	S/R	Volumen	270 mL
Lote	N/A	Punto de muestreo	TP	Tipo muestra	Líquida
Localidad	Reynosa	Tipo Muestreo	Ordinario	Muestreado por	E. Segura
Propietario	Tecpetrol	Tamaño lote	N/A	Presiones	788
Nombre de la muestra	Misión 47	S/R = Sin registro	S/R		

Observaciones	Muestra recibida en buen estado.		
----------------------	----------------------------------	--	--

Determinación	Resultado	Unidad	Límites permisibles
Residual de Inhibidor de corrosión	37.72	ppm	150 - 250

De acuerdo a: NACE 1D182

Observaciones: El resultado se encuentra por debajo de las ppm esperadas las cuales son 150-250.

ANALIZO
 Administrador

HOJA 1 DE 1

Este resultado avala únicamente a la muestra recibida y analizada en el Laboratorio y NO podrán ser reproducidos en forma parcial o total sin la autorización previa del laboratorio

Prolongación de oriente 6 #1415
 2722175333 erik.gonzalez@ldq.mx

Av. Oriente 6 No 1415, Colonia Miguel Alemán C.P. 94340, Orizaba, Veracruz. www.ldq.mx

Figura 4 Reporte final de resultados.

Trabajo a futuro

Utilizar la firma electrónica dentro del software para la validación de resultados, de esta forma tener un respaldo de aprobación o desaprobación.

Auditar para el sistema de gestión de calidad de ISO-9001, implementando el registro de evaluación de mejoras del software se podrán tener cambios continuos favorables.

Conclusiones

A partir de la investigación y mediante el desarrollo de planes estratégicos en la metodología se logró integrar los procesos del laboratorio describiendo los cambios necesarios y requeridos dentro del software, dichos cambios se describieron conforme a las necesidades del laboratorio y permitieron ejemplificar el análisis de residual de inhibidor de corrosión, optimizando el tiempo de entrega de resultados y de gestión de los procesos, así como mejor manejo de información de la muestra y el poder visualizar los resultados dentro del software. Su ejecución logra mitigar los riesgos y las amenazas poniendo al laboratorio en un rango de competitividad alto en comparación con diversos laboratorios que no cuentan con la innovación de este servicio y optimización.

Todo lo anterior fomenta la importancia del desarrollo de planificación estratégica dentro de los laboratorios, que puedan permitir que el nivel de desempeño se ponga en alto, impactando de forma positiva el crecimiento en el servicio.

Referencias

- [1] K. E. Whelan y R. D. King, «Intelligent software for laboratory automation,» TRENDS in Biotechnology, pp. 440-443, 2004.
- [2] M. Cairampoma Rojas, «Tipos de Investigación científica: Una simplificación de la complicada incoherente nomenclatura y clasificación,» REDVET Revista Electrónica de Veterinaria, pp. 2-5, 2017.
- [3] J. Gido y J. Clement, Administración exitosa de proyectos, 5ª edición ed., C. Learning., Ed., México: Cengage Learning, 2012.
- [4] M. A. Lazo Perez , M. Columbíe Pileta, K. C. García Hernández, L. L. Muñoz Alonso, M. M. Fernández Marrero y I. Días León , «La evaluación como vía para el mejoramiento de los procesos. Un ejemplo que facilita su comprensión.,» Revista Cubana de Tecnología de la Salud, p. 37, 2019.
- [5] N. Figueroa Sierra, M. D. J. Ribet Cuador, M. Garrido Cervera, M. E. Ramos Crespo y Y. Enrique Capote, «La gestión de riesgos laborales en las empresas forma parte de su responsabilidad social,» Revista científica AVANCES, p. 66, 2013.
- [6] A. Saracho-Rosales, «Marketing y Ventas de Alto Impacto,» Marketing y Ventas, p. 62, 2016.
- [7] D. Brito-Gómez, «El riesgo empresarial,» Revista Universidad y Sociedad, p. Vol. 1, 2018.
- [8] A. d. s. e. y. a. ASEA, «Guia para la elaboración de la línea base ambiental previo al inicio de las actividades terrestres de exploración y extracción de hidrocarburos,» 18 01 1996. [En línea]. Available: http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171939/gu_a_para_la_elaboraci_n_de_la_l_nea_base_ambiental_previo_al_inicio_de_las_actividades_terrestres_de_exploraci_n_y_extracci_n_de_hidrocarburos.pdf
- [9] A. Son y J. Chakravarty, «Analysis of residual corrosion inhibitors by fluorescence and ultraviolet spectrophotometry,» The NACE International Annual Conference and Exposition, Houstin, Texas, 2016.

Sobre la gestión de recursos en cultivo de tilapia: Alternativa de producción sostenible para agricultores

R.I. Rojas Rauda^{1*}, O. J. Santos Sánchez², E. Rojas Rauda³, E. Villanueva Sánchez⁴, R. Molina Torres¹

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Pachuca, Carretera México Pachuca Km. 87.5, Col. Venta Prieta, Pachuca Hidalgo, México.

²Área Académica de Computación y Electrónica, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca Tulancingo Km. 4.5, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

³Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Minatitlán, Blvd. Institutos Tecnológicos s/n. Col. Buena Vista, Minatitlán, Veracruz, México.

⁴Instituto Tecnológico Latinoamericano, México. Rancho de San José Buenavista Km. 7 Col. El Venado, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

[*rosa.rr@pachuca.tecnm.mx](mailto:rosa.rr@pachuca.tecnm.mx)

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

El presente trabajo consiste en una propuesta, para la gestión adecuada de recursos en el proceso de cultivo de tilapia, como alternativa de producción sostenible para agricultores del sureste de Veracruz, México. Se realizó una investigación de campo para conocer los requerimientos de un estanque de siembra de tilapia, se efectuaron entrevistas a productores de la localidad y se obtuvo un diagnóstico del estado competitivo de las empresas acuícolas. El resultado muestran que la producción del cultivo de tilapia como proyecto generador de ingresos para los agricultores debe ser de semi-intensiva en adelante, para que pueda absorber los costos, debido a que se presenta una gran sensibilidad al volumen de producción y/o ventas con los costos fijos, todos estos elementos de análisis, proporcionaron los componentes para generar la propuesta y uso de tecnología de automatización en la gestión del intercambio de agua, el monitoreo de temperatura y oxígeno.

Palabras clave: Cultivo de tilapia, proceso de gestión, agricultores.

Abstract

The present work consists of a proposal for the adequate management of resources in the tilapia farming process, as an alternative for sustainable production for farmers in the southeast of Veracruz, Mexico. A field investigation was carried out to know the requirements of a tilapia stocking pond, interviews were carried out with local producers and a diagnosis of the competitive state of aquaculture companies was obtained. The results show that the production of tilapia farming as an income-generating project for farmers must be semi-intensive from now on, so that it can absorb costs, due to the fact that it is highly sensitive to the volume of production and/or sales. with fixed costs, all these analysis elements provided the components to generate the proposal and use of automation technology in the management of water exchange, temperature and oxygen monitoring.

Key words: Tilapia farming, management process, husbandman.

Introducción

La acuicultura es el sector de producción alimenticio que representa el 52% del pescado destinado al consumo humano en el mundo y se ha convertido en una práctica de cultivo con excelente oportunidad de desarrollo social y económico [1]. Además de su creciente importancia en materia de seguridad alimentaria, nutricional y como proveedora de ingresos y medios de subsistencia, la acuicultura interactúa de forma importante con la pesca de captura [2]. En el comercio internacional, Asia representa el 89% de la producción acuícola mundial de pescado [1]. Dentro de América Latina y el Caribe, los países que llevan la delantera en acuicultura de manera general son: Chile, Brasil y México, representando en conjunto el 79% del volumen [3].

En algunos trabajos publicados se plantea que la tilapia es una especie con alta capacidad natural de adaptación a distintos productos bióticos y amplia tolerancia a condiciones ambientales adversas, que la convierte en un

excelente pez para la acuicultura [4] y [5]. En México se cultivan ocho tipos de tilapia, dentro de las cuales se encuentra la tilapia Herbívora, del Nilo, Stirling, Blanca, de Mozambique, Naranja, Mojarrá y Roja de Florida [6]. México ocupa el noveno lugar a nivel mundial en la producción de tilapia, con un volumen de producción de 117 806 toneladas [7].

La acuicultura en México, como a nivel mundial, se encuentra inmersa en un contexto de cambio climático, de incertidumbre económica y en aumento de competencia por los recursos naturales, lo que impide que esta actividad se fortalezca. En efecto, en otros países como Egipto, se presentan graves problemas en el sector acuícola, sobretodo en la disponibilidad de los recursos naturales, en donde el principal suministro de agua para la producción de tilapia es agua de drenaje, lo cual genera una fuente potencial de contaminación por la falta de disponibilidad de agua de calidad y de renta de tierra [8].

De acuerdo a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), durante 2017 en México el 80% de los cultivos de tilapia que se desarrollan en el país son de tipo semi-intensivo y con rendimiento bajo, los sistemas de producción de acuicultura de agua dulce son principalmente dedicadas al cultivo de tilapia y la infraestructura en que se realiza varía desde geomembrana, hormigón o estanques rústicos hasta jaulas y estanques flotantes. La fuente del agua utilizada para la producción proviene de pozos [9].

En el estado de Veracruz se generan 8 762 toneladas de producción anual de tilapia [10], ubicándolo dentro de los primeros cinco estados a nivel nacional que contribuyen a la soberanía alimentaria en beneficio del país. En las áreas rurales del sureste del Estado de Veracruz, los agricultores se enfrentan a una gran variedad de barreras que influyen en su crecimiento y en ocasiones en su existencia como generadores de ingresos. Dichas barreras, son por ejemplo, que de manera cotidiana tienen que hacer frente a las distintas plagas que afectan a los cultivos, cambios climáticos, bajos precios establecidos por los mayoristas y a la competencia de productos por las importaciones.

Por lo anterior los agricultores deben considerar otras alternativas para poder hacer frente a los costos fijos, generar nuevas oportunidades de negocio para cubrir las necesidades de su familia y las familias de sus trabajadores.

Por tal motivo se plantea la posibilidad de evaluar alternativas para los agricultores de Chinameca, Ver., México; y contribuir con las directrices para el desarrollo sostenible de la acuicultura, las cuales se fundamentan de los estudios de casos de acuicultura en diferentes contextos regionales y las prácticas exitosas sobre los efectos de la cría de peces, operación de las explotaciones y gestión empresarial [1], con el fin elevar la productividad en el sector agroalimentario y atender en la formulación la necesidad alimentaria de población rural.

En este artículo se presenta una alternativa de producción sostenible para los agricultores del sureste de Veracruz, México.

Análisis de recursos para puesta en marcha el cultivo de tilapia como generadora de ingresos y medio de subsistencia para los agricultores.

Propuesta de uso de tecnología como estrategia en la producción de tilapia como estrategia para los pequeños productores y emprendedores en el ámbito rural.

Antecedentes

En la literatura especializada se encuentran trabajos encaminados a fortalecer el proceso de producción acuícola de tilapia, [11] se proponen un diseño estratégico para el desarrollo competitivo de la Institución Educativa y de Capacitación Pesquera (INECAP) como sociedad cooperativa en Jalisco, México; mediante la organización de reuniones con los miembros, se analizó la situación de la granja y por consenso se estableció la filosofía empresarial, se elaboró un FODA y propusieron estrategias con enfoque cualitativo.

Por otra parte, se diseñó de forma descriptiva una estrategia de comercialización de tilapia en Veracruz, México, que sirviera de diferenciación para enfrentar el comercio internacional de tilapia, en ese trabajo se identificó como factor de viabilidad económica, la cualidad de producto fresco como un factor de decisión de compra, afirmando que el formato comercial de pez vivo, incrementa su valor y les permite diferenciarse de la competencia [12].

En el trabajo de [13] realizaron un análisis de la implementación de la Transformadora Integral Potosina de Bagre y Tilapia (TIP) en México, como una estrategia regional acuícola, que ofreciera a productores agrupados en la Huasteca Potosina un modelo de comercialización, en ese artículo se identificó que la producción acuícola en la Huasteca Potosina casi siempre se asocia a las actividades agrícolas y en menor medida a la producción ganadera, en donde las labores agrícolas se ven beneficiadas por los nutrientes que aportan a la tierra las aguas de los estanques.

Por otro lado, [14] se realizó una evaluación económica y financiera de los cultivos de camarón blanco, tilapia, bagre de canal y ostión en Tamaulipas, México, con base a estadísticas proporcionadas por la Comisión Nacional

de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA) y solamente en el caso del camarón y el bagre, el análisis se complementó con encuestas a los productores de esas especies, en lo relacionado a la tilapia y ostión no se elaboraron encuestas, debido que solo se tenía conocimiento de dos empresas productoras de tilapia en operación y ninguna de ostión. En los resultados se afirma que el cultivo de tilapia con sistema de estanques rústicos fue el menos atractivo y que la intolerancia de la tilapia a las bajas temperaturas es restricción al cultivo comercial en regiones templadas.

En [15] efectúan un análisis de rentabilidad para analizar los costos y beneficios en las principales zonas productoras de tilapia en China, la rentabilidad se determinó para un ciclo de producción, se aplicó un instrumento de recolección de forma aleatoria a 300 productores, que en su mayoría eran pequeños productores, se identificó que sus costos de producción están determinados por las condiciones ecológicas, sociales y económicas, así como la tecnología de mejoramiento empleada y la experiencia en el manejo, también se afirma que debido al clima en el sur de China algunos agricultores implementan el policultivo en donde pueden obtener otros ingresos de peces o aves de corral y que el cultivo de tilapia es una estrategia empleada por los agricultores. Por otra parte, [16] realizaron una evaluación de la viabilidad económico-financiera de la producción de la tilapia en el sur de Brasil, los datos los obtuvieron a través de cuestionarios en línea a los productores de la región y los resultados apoyan la viabilidad económica de la producción de tilapia a pequeña escala y como un complemento económico para la economía familiar.

Por su parte, [9] señala que en México, en la región del Pacífico los sistemas de producción acuícola han sido exitosos e impactado en la mejora de las prácticas y uso sostenible de recursos, sin embargo en la región del sotavento en el Golfo de México, los tipos de tratamientos aplicados a los sistemas de aguas residuales en la producción acuícola están mal implementados y se requieren de creación de innovación tecnológica factible en los sistemas de producción acuícola, para generar un impacto significativo generando beneficios ambientales. Se deben tomar en consideración las condiciones ambientales y climatológicas de cada región, debido a su influencia significativa en los niveles de oxígeno del estanque, por lo que es de gran utilidad contar con equipos y sistemas de oxigenación para evitar retrasos en el crecimiento de los peces y disminuir las tasas de mortalidad [17].

Metodología

La metodología empleada se fundamenta en un diseño cuantitativo y cualitativo, en la Figura 1, se puede observar cada una de las etapas empleadas la investigación.



Figura 1. Metodología propuesta.

En la primera etapa se caracterizó el sitio de estudio, en donde se identificaron las condiciones existentes en el municipio de Chinameca Veracruz, México; y se realizó la verificación de los requerimientos óptimos para el cultivo de tilapia.

En segunda etapa se efectuó la investigación de campo, que permitió obtener los datos sobre los requerimientos, los costos del estanque y materiales necesarios para la puesta en marcha del cultivo de tilapia, así como también se aplicó un instrumento de recolección de información a los 15 productores de tilapia de la localidad de Chinameca y de los municipios colindantes, con la intención de conocer las mejores prácticas realizadas por los acuicultores.

En la tercera etapa, se hizo un análisis de los recursos desde el punto de vista financiero [18], en el cual se concentraron los datos contables relativos a la inversión, al capital de trabajo, las amortizaciones a considerar, se elaboró el flujo de efectivo a 5 años y el punto de equilibrio, también fue posible identificar los factores de éxito para el diseño de la estrategia acorde a los recursos disponibles en el entorno.

En la cuarta etapa se diseña la propuesta de automatización, que consistió en inyectar un nivel de oxígeno al estanque abierto y controlar el nivel de agua en el estanque, para lo cual se recomienda una tasa de 5 miligramos de oxígeno disuelto. El monitoreo de temperatura es importante para el crecimiento y desarrollo de los peces,

aunque por la zona en la cual se desarrolló el estudio no requiere un control estricto, sin embargo si es importante monitorizarla cuando se presentan cambios extremos de temperatura.

Resultados y discusión

Caracterización del sitio de estudio

El municipio de Chinameca, Veracruz, México; cuenta con una superficie de 174.1 km², se compone por una localidad urbana y 97 rurales, Chinameca es cabecera municipal, con un clima cálido húmedo, con abundantes lluvias en verano, una temperatura promedio durante el año entre 25° C, el municipio colinda con los municipios de Mecayapan, Pajapan, Cosoleacaque, Oteapan, Jáltipan, Soconusco y Mecayapan [19].

Dentro de los datos demográficos reportados en el Censo Poblacional y Vivienda (INEGI, 2020), se identifica que en el municipio de Chinameca, el 60.2% del total de la población se encuentra en situación de pobreza. Teniendo en cuenta las condiciones climáticas y de pobreza que imperan en esa región, es necesario generar alternativas para la optimización adecuada de los recursos y uso de la tecnología que garantice la producción de alimento y a la vez genere una fuente de recursos económicos.

En la Figura 2, se presentan los productores acuícolas de la localidad y sus alrededores, en el municipio de Chinameca existen cuatro productores, de los cuales dos cuentan con una producción semi intensiva y dos de ellos son pequeños productores, se estima que cosechan tilapia cada 6 meses, sin embargo no alcanzan a cubrir la demanda de los clientes. Es importante mencionar que en el municipio de Jáltipan existen 100 competidores directos intermitentes (dependen de los días de pesca), cuya cosecha es de 1000 a 2000 tilapias por día y proviene del Río Monzapan, la calidad del producto varía en cuanto al sabor e higiene, por la exposición en el río a contaminantes y el tipo de alimentación.



Figura 2. Distribución geográfica de los productores.

Al realizar la investigación, se entrevistó a los 15 productores de tilapia de la localidad de Chinameca y de municipios colindantes. Los resultados obtenidos señalan que el 27% de productores combinan el cultivo de tilapia con la agricultura para complementar sus ingresos, el 67% concentran todo sus esfuerzos en el cultivo de tilapia, 6% son productores ocasionales y solamente el 20% utilizan instrumentos para medir la calidad del agua. Los factores críticos identificados es la falta de capacitación técnica al personal, deficiencias en la gestión de los recursos y la falta de herramientas tecnológicas en la realización del proceso, lo que repercute en la engorda de tilapia, así como también en el manejo y recolección del producto para la venta.



Figura 3. Estanque de cultivo de tilapia en Chinameca, Veracruz, México.

Se realizó el análisis de recursos para la puesta en marcha el cultivo de tilapia como alternativa para los agricultores de Chinameca [18], en donde se identifican los requerimientos de financiamiento y estima la inversión inicial, se concentraron los datos contables relativos a la inversión, al capital de trabajo, las amortizaciones a considerar, así como también se elaboró el flujo de efectivo a 5 años y el punto de equilibrio.

En la Figura 4, se desglosa la inversión fija que se requiere en la instalación de 2 estanques de 160 mt² para el cultivo de tilapia y representa un total de \$36 740.00 como se puede observar en la Figura 5. Tomando en cuenta que los competidores existentes no cubren la demanda del producto en todo el año, se propone una siembra en cuatro periodos distintos, teniendo como resultado una cosecha por periodo de 330 Kg a un precio competitivo de 75.00 pesos

Concepto	Unidad de Medida	Cantidad	Costo Unitario	Total
Estanque	Mt2	320	\$ 32.00	\$ 10,240.00
Atarraya	Pieza	1	\$ 1,500.00	\$ 1,500.00
Hielera	Pieza	1	\$ 1,400.00	\$ 1,400.00
Báscula	Pieza	1	\$ 700.00	\$ 700.00
Sistema de medición	Unidad	1	\$ 10,000.00	\$ 10,000.00
Equipo de oficina	Pieza	1	\$ 2,000.00	\$ 2,000.00
Malla	Mt2	320	\$ 20.00	\$ 6,400.00
Bomba de 4.5 HP	Pieza	1	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
Medidor de temperatura y oxígeno	Pieza	1	\$ 1,500.00	\$ 1,500.00

Figura 4. Inversión fija para el cultivo de tilapia 2 estanques.

En la Figura 5. Se muestra el cálculo para la puesta en marcha del cultivo de tilapia, en donde se observa que el flujo de efectivo del proyecto de cultivo de tilapia, espera generar, después de su puesta en marcha en el primer año, la cantidad de 22, 408.94 pesos y en el segundo año 45, 556.46 pesos. En los costos de producción se encuentra integrado el pago de la mano de obra operativa y en los gastos administrativos se incluye el pago de servicios administrativos, los cuales se consideran un pago proporcional al sueldo mensual del personal con los que cuenta el agricultor, debido a que se propone como un proyecto que permita potencializar el uso de los recursos de los agricultores en Chinameca Veracruz, que ya cuentan con el personal y el terreno para habilitar los estanques, por lo que las actividades que se tienen que desempeñar en el proceso de engorda de tilapia, serían parte de sus responsabilidades diarias de los agricultores, así como también se incluye parte proporcional de pago de energía eléctrica.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<i>Inversión Inicial</i>	\$41,240.00					
<i>Financiamiento</i>	\$3,000.00					
<i>Ventas</i>		\$99,000.00	\$103,950.00	\$109,147.50	\$114,604.88	\$120,335.12
<i>Caja inicial</i>		\$4,500.00	\$22,408.94	\$45,556.46	\$70,641.36	\$97,760.51
<i>Entradas</i>	\$44,240.00	\$103,500.00	\$126,358.94	\$154,703.96	\$185,246.24	\$218,095.63
<i>Inversión fija</i>	\$36,740.00					
<i>Inversión diferida</i>	\$2,600.00					
<i>Capital de trabajo</i>	\$400.00					
<i>Costos de producción</i>		\$62,097.60	\$65,202.48	\$68,462.60	\$71,885.73	\$75,480.02
<i>Gastos de administración</i>		\$15,600.00	\$15,600.00	\$15,600.00	\$15,600.00	\$15,600.00
<i>Gastos de venta</i>		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Gastos financieros</i>		\$393.46	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<i>Amortización del financiamiento</i>		\$3,000.00				
<i>Salidas</i>	\$39,740.00	\$81,091.06	\$80,802.48	\$84,062.60	\$87,485.73	\$91,080.02
<i>Flujo neto de efectivo</i>	\$4,500.00	\$22,408.94	\$45,556.46	\$70,641.36	\$97,760.51	\$127,015.61

Figura 5. Flujo de efectivo anual.

Se calcularon indicadores financieros para un periodo de 5 años, los cuales arrojan una tasa interna de rendimiento (TIR) de 95.04%, valor presente neto es mayor a cero, por lo que se acepta el proyecto y un el punto de equilibrio en \$ 41 850.93, los valores dan evidencia de la rentabilidad económica en el cultivo de tilapia para los agricultores.

Tecnología empleada

La tecnología que se maneja en los cultivos de engorda de tilapia semi intensivo es sencilla [9], consiste básicamente en pequeñas adecuaciones que mejoran las tasas de crecimiento y supervivencia de la tilapia tales como el suministro de alimento, la gestión del intercambio de agua para conservar el oxígeno en niveles adecuados y proteger a la población de depredadores. El uso de tecnología funcional para los productores permite una adecuada interacción entre los nutrientes, las bacterias y los organismos cultivados, que favorezca la creación de sistemas de cultivos rentables.

Para el caso de estudio, se observó que el 80% de los productores de la localidad de Chinameca y de municipios colindantes supervisan la calidad del agua de forma artesanal y con base a la experiencia. Por lo anterior es posible proponer un sistema de control para la gestión del intercambio de agua, inspección de temperatura y oxigenación del agua, que permita el monitoreo y registro de los datos, para realizar los cambios requeridos de acuerdo a las necesidades reales del proceso y favorecer la producción. El control de las variables puede implementarse en un Controlador Lógico Programable (PLC) con una Interfaz Hombre Máquina (HMI) para el despliegue y almacenamiento de datos, el cual tendrá un lazo de control para regular el nivel de agua mediante la alimentación de esta en un pozo o contenedor de agua sin cloración. Además, puede monitorizarse la temperatura del agua y oxigenar mediante un compresor de aire que funcione mediante tiempos específicos. A continuación, la Figura 6, muestra un diagrama del esquema propuesto.

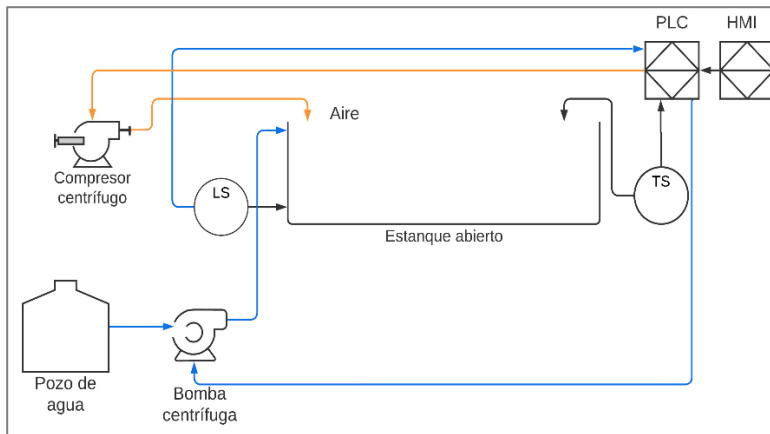


Figura 5. Automatización propuesta

Sin embargo, la inversión inicial, la instalación y mantenimiento de todo el equipo de automatización, representa un costo relativamente alto para absorberse en una producción semi intensiva, por lo que habría que valorarse su uso. En efecto, de acuerdo a la corrida financiera dada en la Figura 5, en el primer año, solo una inversión en tecnología del orden de \$10,000.00 sería factible.

Trabajo a futuro

Se considera realizar seguimiento, medición en la implementación a la propuesta de uso de tecnología en el proceso de producción sostenible para los agricultores, lo cual permita realizar las adecuaciones en caso de ser necesario, es importante realizar sesiones de asesoría a los agricultores interesados en implementar la alternativa del cultivo de tilapia.

Conclusiones

En la localidad de Chinameca, Veracruz, las condiciones del entorno son favorables en cuanto, a los recursos naturales como la temperatura, la disponibilidad el agua de pozo, uso de la tierra, empleo de alimentos sostenibles para el proceso de producción por los cultivos existentes, sin embargo se puede observar que los productores establecidos realizan sus procesos de manera artesanal, que desconocen de estrategias para la optimización de recursos y de capacitación técnica en el proceso de producción.

Las estrategias de comercialización de la cosecha de tilapia deben orientarse a segmentos de mercado rurales, debido a la dificultad que tiene la población rural a acceder a fuente de proteínas nutritivas y que contribuya a atender la necesidad alimentaria de la población con más bajos recursos y proporcionar trabajo a la población con bajo nivel educativo.

Los resultados obtenidos del análisis financiero, dan evidencia de la viabilidad financiera del proyecto como una la alternativa de producción del cultivo de tilapia y que debe ser semi intensivo en adelante, para que pueda absorber los costos, debido a que se presenta una gran sensibilidad al volumen de producción y/o ventas con los costos fijos, lo que propone a los agricultores una alternativa de proyecto de acuicultura que le genere ingresos y pueda continuar también con su función a agricultor.

El uso de la tecnología en producciones semi intensivas debe valorarse por el productor debido a la fuerte inversión inicial, instalación y mantenimiento del equipo.

Referencias

- [1] FAO. 2020. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción*. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.
- [2] Banco Mundial. 2016, *Economía y crecimiento*. Disponible en: www.bancomundial.org

- [3] Luchini, L. (2006). Tilapia: Su cultivo y sistemas de producción. Dirección de Acuicultura. SAGPyA. Buenos Aires.
- [4] Cassemiro, F. A., Bailly, D., da Graça, W. J., y Agostinho, A. A. (2018). The invasive potential of tilapias (*Osteichthyes, Cichlidae*) in the Americas. *Hydrobiologia*, 817(1), 133-154.
- [5] Jácome, J., Quezada Abad, C., Sánchez Romero, O., Pérez, J. E., y Nirchio, M. (2019). Tilapia en Ecuador: paradoja entre la producción acuícola y la protección de la biodiversidad ecuatoriana. *Revista peruana de biología*, 26(4), 543-550.
- [6] Diario Oficial de la Federación de México (2016) Reglas de Operación del Programa de Fomento a la Productividad Pesquera y Acuícola de SAGARPA. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5468355&fecha=31/12/2016.
- [7] CONAPESCA, S. 2017. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017.
- [8] Eltholth, M., Fornace, K., Grace, D., Rushton, J., y Häsler, B. (2015). Characterisation of production, marketing and consumption patterns of farmed tilapia in the Nile Delta of Egypt. *Food Policy*, 51, 131-143.
- [9] Sosa-Villalobos, C., del Refugio Castañeda-Chávez, M., Amaro-Espejo, I. A., Galaviz-Villa, I., & Lango-Reynoso, F. (2016). Diagnosis of the current state of aquaculture production systems with regard to the environment in Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(2), 193-201.
- [10] CONAPESCA, S. 2017. Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2017. Recuperado de <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>.
- [11] García, J. J. L., y Aguirre, L. R. D. (2015). La gestión estratégica en la producción de tilapia. Caso de la granja acuícola INECAP en Tomatlán, Jalisco, México. *Revista Ciencias Estratégicas*, 23(34), 321-329.
- [12] Lango-Reynoso, V., Reta-Mendiola, J. L., y Asiain-Hoyos, A. (2015). Estrategia Local de Comercialización de Tilapia viva (*Oreochromis* spp.), en Veracruz, México ante la competencia internacional. *Agroproductividad*, 8(3).
- [13] Chávez, M. G. G., y Lugo, B. C. (2015). Transformadora Integral Potosina de Bagre y Tilapia: Un nuevo modelo de producción acuícola en la Huasteca potosina. *Sociedad y Ambiente*, 1(8), 75-97
- [14] Trejo-Igueravide, R. (2017). Evaluación de los cultivos acuícolas en Tamaulipas, México. *CienciaUAT*, 12(1), 114-133.
- [15] Yuan, Y., Yuan, Y., Dai, Y., y Gong, Y. (2017). Economic profitability of tilapia farming in China. *Aquaculture international*, 25(3), 1253-1264.
- [16] Castilho-Barros, L., Owatari, M. S., Mouriño, J. L. P., Silva, B. C., y Seiffert, W. Q. (2020). Economic feasibility of tilapia culture in southern Brazil: A small-scale farm model. *Aquaculture*, 515, 734551.
- [17] Perdomo-Gómez, G. A., Corredor-Galvis, K., Duarte-Rivera, S., Botina-Trujillo, K. R., & Méndez-Pastrana, D. A. (2020). *Automatic Dissolved Oxygen Control to Oreochromis Fish's Crop into Geomembrane Tank. Scientia et Technica*, 25(1), 97-103.
- [18] Ross, S. A. J., Westerfield, J. F., Ross, R. W., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. F. (2000). *Finanzas corporativas* (No. 658.15/. 16). McGraw-Hill Interamericana.
- [19] Secretaría de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz, (2021). Estudios Regionales para la Planeación: Cuadernillos Municipales. Disponible en <http://ceieg.veracruz.gob.mx/>

Percepción del liderazgo organizacional en la empresa familiar asociado a los miembros familiares. Caso Aguascalientes

Rosa Mayela Mendoza Esparza¹, Rebeca Hernández Torres², Andrés Mauricio García Gómez³, Saúl Hernández Amparán⁴

¹Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes, rosa.mendoza@utna.edu.mx^{1,2}Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes, rebeca.hernandez@utna.edu.mx², ³Universidad Tecnológica de Santander Colombia, agarcia@correo.uts.edu.com³, ⁴Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes, saul.hernandez@utna.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa.

Resumen

La familia es un ente social, de integración y pertenencia considerada la fuente del desarrollo personal de sus integrantes, tanto en los roles familiares como las conductas derivadas de estos, que son desarrolladas en la vida profesional, ahora bien, cuando se conjuntan los integrantes de familia en el ámbito profesional, estos roles se considera se deben adaptar al entorno, este panorama se plantea e investiga en las empresas familiares, ya que, se conjuntan intereses familiares y económicos; aunado a esto, se encuentra el ciclo de vida en la que se encuentra la empresa, siendo entonces de importancia el estilo del líder quien está al frente de la empresa; por lo que, este estudio de caso se enfoca en la relación que pueda existir entre la percepción del liderazgo organizacional que los miembros de la empresa familiar y el tipo de miembro de la familia que labora en la empresa.

Palabras clave: Liderazgo, Empresa familiar, miembro familiar.

Abstract (150 words at most, Arial 10)

The family is a social entity, of integration and belonging considered the source of the personal development of its members, both in family roles and the behaviors derived from these, which are developed in professional life, however, when the members of family in the professional field, these roles are considered to be adapted to the environment, this scenario is raised and investigated in family businesses, since family and economic interests are combined; In addition to this, there is the life cycle in which the company is, then the style of the leader who is in charge of the company is of importance; Therefore, this case study focuses on the relationship that may exist between the perception of organizational leadership by members of the family business and the type of family member who works in the business.

Key words: Leadership, Family business, family member.

Introducción

Siendo un ente de importancia en el desarrollo local de cada país, las empresas familiares cobran relevancia por su dinámica de interacción familiar y empresarial desde una perspectiva holística de intereses. En este sentido, desde el enfoque administrativo, la empresa familiar visualiza de una manera intrínseca enfrentar día a día el desafío de alinear los intereses de la familia, la propiedad y los objetivos de negocio [1], así mismo, se considera de manera inherente que la gestión administrativa va de la mano a la familia [2] puesto que se interrelacionan los intereses tanto económicos como familiares [3].

Consecuentemente, el estilo de liderazgo en la empresa familiar está denotado por aquellos miembros de la familia que interrelacionan en la gestión administrativa, así como por el ciclo de vida por el que pasa la empresa [4], con el tiempo las habilidades, acciones, creencias y estructura que el líder genera tienen impacto de supervivencia [5]. Ahora bien, esas mismas habilidades que emplea el líder de la empresa, detonan un estilo de

liderazgo y al referirnos a la palabra “estilo” se conjuntan conceptos como patrones conductuales, la disposición, preferencias, tendencias y estilo de aprendizaje [6], al mismo tiempo, [7] define los estilos de liderazgo en el contexto de las expectativas, interacciones de grupo, situaciones [8] y percepciones. Acorde con lo antes mencionado, las empresas familiares contienen una dinámica de interrelación familiar donde se destaca el liderazgo paternalista en conformidad de los roles familiares [9], el segundo líder en ocasiones puede ser un hijo adulto o la madre de familia, en el caso de la madre se le considera poseer un liderazgo emocional [10]; este punto es relevante en las empresas familiares, ya que por lo regular quien es líder de la empresa también cuenta con un papel reconocido dentro de la familia [11]. Es por esto, por lo que se han realizado diversas investigaciones sobre la relación de la supervivencia en las empresas familiares en consideración al estilo de liderazgo que se ha desarrollado en ellas en cada uno de sus ciclos de vida [11], [12], [13], [14], [15].

En México se determina que las empresas familiares representan el 90 por ciento de las empresas que existen en el país [16]; Pérez [17] considera que el factor que favorece el desarrollo de las empresas familiares es resultado de la cultura familiar mexicana, esto en consideración a los ritos, las costumbres, las normas, así como la endogamia, la herencia y la sucesión como fundamentos de la perpetuación del linaje familiar, puesto que, las relaciones familiares mexicanas se caracterizan por ser continuas a través del tiempo. Un estudio realizado por Banamex [18] encontró que para el 67% de las empresas familiares, la familia va primero en consideración a la toma de sus decisiones empresariales [19]; este mismo estudio, considera que el 68% de las empresas encuestas dependen en demasía de su líder, quien es miembro de la familia. Con respecto a los resultados de algunas investigaciones en empresas familiares mexicanas, destaca la confianza y la solidaridad en la familia como factores relevantes los cuales se consideran dos puntos importantes los relacionamos con los estilos de liderazgo que desarrollan estos factores.

Liderazgo

Una de las características que destaca en el concepto de liderazgo, es la influencia que el líder tiene con los miembros de la empresa, con los cuales se interrelaciona; aunado a esto, se distinguen las teorías de liderazgo tales como la teoría psicológica [20], la teoría de rasgos [21], la teoría conductual [22], la teoría situacional [23], [24], [25], [26] y la teoría del camino meta [27], entre otras; las cuales conducen a diversos estilos orientados por factores como lo son la personalidad, pensamientos, emociones, los actos y comportamientos situacionales que detonan en el estilo de liderazgo que caracterizan la adaptación de cada individuo [21], [28], [29]; ahora bien, sobre los estilos de liderazgo existen muchas características particulares de cada uno de ellos, que se desarrollan por diferentes aspectos dentro de la empresa [30]. Los estilos de liderazgo contemplan diferentes principios, determinando el actuar de un líder, dentro de estos destacan: el principio de preferencias en el uso de sus habilidades, el principio de la realización de la tarea y las situaciones, el principio de socialización, el principio de variabilidad a lo largo de la vida, ya que, pueden ser enseñados o desarrollados [31]. Pongamos por caso los siguientes estilos de liderazgo y sus características conductuales:

Estilos de liderazgo	Características de los Estilos del Liderazgo
Liderazgo Autocrático	<ul style="list-style-type: none"> • Inicia las acciones, dirige, motiva y controla al subalterno • Se rige por sus propios argumentos y asume la responsabilidad en la toma de decisiones. • Impone y espera el cumplimiento de sus órdenes. • Dogmático.
Liderazgo Democrático	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza la consulta, para practicar el liderazgo • Tiende a ser más participativo y tiene muy en cuenta los puntos de vista de cada uno de sus subordinados. • Fomenta que los empleados decidan y asuman responsabilidades en la toma de decisiones. • Un gran oyente y respetuoso con el trato hacia sus empleados. • La autoridad final en asuntos de importancia sigue en sus manos.
Liderazgo laissez-faire	<ul style="list-style-type: none"> • Delega en sus subalternos la autoridad para tomar decisiones • Los subalternos asumen la responsabilidad por su propia motivación, guía y control. • Proporciona muy poco contacto y apoyo
Liderazgo Paternalista	<ul style="list-style-type: none"> • Asumen las decisiones del resto de los individuos en cuyo nombre actúan • Combina la disciplina y la autoridad con la benevolencia paternal y la integridad moral • Hacen que las relaciones personales entre líder y personas empleadas sean mucho más estrechas.

Cuadro 1. Estilo de liderazgo y sus características.

En el cuadro anterior se observa la particularidad del comportamiento de cada uno de los estilos de liderazgo, las cuales sirven de instrumento para el desarrollo empresarial; se denota, la interrelación que los líderes marcan con los subordinados, como es la dirección a la realización de metas; una de las características más representativas del estilo de liderazgo autocrática es el dogmatismo sobre las estrategias organizacionales, el estilo de liderazgo democrático es caracterizado por fomentar a los empleados a la toma de decisión, ahora bien, el estilo de liderazgo laissez-faire se caracteriza por el poco contacto con los subordinados y finalmente, el estilo de liderazgo paternalista combina una la autoridad con las relaciones estrechas y de protección.

Empresa Familiar y su ciclo de vida.

La conceptualización de la empresa familiar se puede definir desde diferentes enfoques, en una revisión de literatura Chrisman, Chua y Sharma [32] identificaron las siguientes variables que integran la definición de una empresa familiar: Propiedad [14], Participación de familiares en cargos de gestión [33], Sucesión generacional y Modelo organizacional [10], como componentes esenciales del concepto. En esta consideración de variables, para esta investigación se considera el concepto de empresa familiar como la “organización controlada y administrada por uno o varios miembros de una misma familia” [33], [34]. Una de las características de las EFs es que son creadas para que pasen de progenitores a sus descendientes, generación tras generación [35]. García [36] sugieren que al analizar la evolución y desarrollo de las empresas familiares no se pierda de vista el desarrollo de la familia, ya que la familia, es quien determina la orientación a la supervivencia de la empresa, puesto que, ambos factores (familia y empresa) generan un crecimiento conjunto, esto analizado desde un enfoque sistémico [37]; en relación con lo antes mencionado, se destaca el ciclo de vida de las empresas familiares, puesto que este determina la etapa de desarrollo de una empresa familiar con base en sus características de cultura organizacional, destacando el hacer del fundador y su liderazgo; la clasificación de los ciclos de vida de las empresas familiares va en virtud de cada autor, sin embargo en todos los casos se destaca el estilo de liderazgo y el rol que el miembro fundador de la familia ocupa en cada una de estas etapas.

Autores como Dodero [38] determina que el ciclo de vida de las empresas familiares se conforma de cuatro etapas dentro de toda la supervivencia de la empresa, las cuales son las siguientes: Etapa 1. Fundador de la Empresa o Fundadora, Etapa 2. Crecimiento por estilo de liderazgo del fundador, Etapa 3. Sucesión en la Empresa, Etapa 4. El gobierno Corporativo Profesional; para Greiner [39] los ciclos de vida están clasificados en cinco etapas: 1. Crecimiento a través de la creatividad. 2. Crecimiento a través de la dirección, 3. Crecimiento a través de la delegación, 4. Crecimiento a través de la coordinación, y 5. Crecimiento a través de la colaboración. Es necesario recalcar, que en cada una de estas etapas del ciclo de vida de la empresa familiar se distingue por un estilo de liderazgo de acorde al miembro de la familia quien este desempeñando el rol de líder en dicha etapa. Gersick [40] clasifican a las empresas con base en la edad de los miembros de la familia: Etapa 1. Familia empresa joven, Etapa 2. Familia entrada en la empresa, Etapa 3. Familia trabajando en forma conjunta, Etapa 4. Familia pasando el bastón de mando; con esta clasificación se identifica la importancia de los miembros integrados en la empresa, puesto que marcan tanto el desarrollo familiar como empresarial. En el siguiente cuadro, se muestra un comparativo de etapas de vida de las empresas familiares identificando los estilos de liderazgo que se desarrollan, así como los miembros de la familia que tienen un rol representativo en cada una de las etapas.

Etapas	Miembros de la familia
<p>Etapa 1. Fundadora</p> <p>Crecimiento a través de la creatividad</p> <p>Familia empresa joven</p>	<p>Fundador de la empresa.</p> <p>Los padres son menores de 40 años y los hijos menores de 18.</p>
<p>Etapa 2. Crecimiento por estilo de liderazgo del fundador</p> <p>Crecimiento a través de la dirección</p> <p>Familia entrada en la empresa</p>	<p>Familia nuclear Ingreso de los hijos a la empresa</p> <p>Los padres se ubican en una edad entre los 35 y 55 años, mientras que los hijos están entre la adolescencia y los 20 años.</p>

Etapa 3. Sucesión en la Empresa Crecimiento a través de la delegación Familia trabajando en forma conjunta	Familia nuclear ampliada. Sucesión del fundador La edad de los fundadores está entre los 50 y 65 años y los hijos entre los 20 y 45.
Etapa 4. El gobierno Corporativo Profesional Crecimiento a través de la coordinación Familia pasando el bastón de mando	Familia extensa multigeneracional e ingreso de no miembros de la familia. La edad del fundador es arriba de los 60 años de edad
Etapa 5. Crecimiento a través de la colaboración	Integración de consejo de accionistas, personas que no tienen relación con la familia del fundador.

Cuadro 2. Etapas del ciclo de vida de las empresas familiares.

En el cuadro anterior se observa como se encuentra integrada la empresa familiar en consideración a su etapa de vida, así como al mismo tiempo que la empresa se desarrolla en organización administrativa, también la familia va creciendo y se incorporan tanto miembros de la familia núcleo del fundador otros miembros de la familia, hasta llegar a integrar a personas que no son parte de la familia del fundador.

Consecuentemente con lo antes mencionado, autores como Araque [41], De la Garza [42] Tápies [43] y Serna [44], refieren a las empresas familiares como entidad gestionada por un fundador, donde su decisión tiene efectos en el núcleo familiar debido a la interrelación de la existencia de la empresa con la relación familiar, de igual manera este apartado referencia la conformación, la estructura y las etapas del ciclo de vida de la empresa familiar [38].

Liderazgo y empresa familiar

El liderazgo ha sido investigado en sus diferentes elementos administrativos que lo componen, tales como: desafiar los procesos, inspirar una visión compartida, habilitar a los demás para que actúen, modelar el camino y dar aliento [45]; estos elementos son de suma importancia para el desarrollo y perpetuidad de una empresa [46]. Con base en esto, se puede referir la trascendencia del liderazgo en las diferentes etapas del ciclo de vida de una empresa, y más aún de una empresa familiar; en consideración de la dinámica administrativa y familiar que se genera en cada una de estas etapas. De ahí que, los roles de liderazgo que podemos diferenciar en la estructura de la empresa familiar son gobernanza, gestión y dirección, con base en esto, es de importancia que el líder determine su comportamiento orientado al objetivo que desea alcanzar dentro de la empresa familiar, aunado a factores del entorno derivadores del ciclo de vida en el que se encuentra la empresa familiar; haciendoreferencia a la sucesión o al gobierno corporativo, por mencionar algunas de las etapas.

Etapas	Miembros de la familia
Etapa 1. Fundadora Crecimiento a través de la creatividad Familia empresa joven	Fundador de la empresa.
Etapa 2. Crecimiento por estilo de liderazgo del fundador Crecimiento a través de la dirección Familia entrada en la empresa	Familia nuclear Ingreso de los hijos a la empresa
Etapa 3. El gobierno Corporativo Profesional Crecimiento a través de la coordinación Familia pasando el bastón de mando	Familia nuclear ampliada. Sucesión del fundador
Etapa 4. Crecimiento a través de la colaboración	Familia extensa multigeneracional e ingreso de no miembros de la familia.

Cuadro 3. Etapas y tipo de miembros en cada etapa.

Con respecto a la información del cuadro anterior, se clasifican las 4 etapas de [38], en la siguiente consideración:

Etapa 1. En la etapa fundadora, el fundador de la empresa familiar desarrolla el liderazgo de una manera individual, ya que se considera que la toma de decisión se encuentra en su consideración puesto que en ocasiones se le determina como emprendedor, identificando las oportunidades de negocio, uno de los puntos importantes del porque, aunque sea una sola persona en esta etapa es por la inversión que se realiza del capital familiar a esta pequeña empresa [38].

Etapa 2. En la etapa de crecimiento, la empresa cuenta con una nueva característica, que es el desarrollo y aumento de actividades, por lo que, con esta nueva dinámica, se comienzan a delegar funciones, el fundador necesita establecer un organigrama formal o informal donde delegue actividades, además el mercado va cambiando las características de sus necesidades, por lo que, esto apoya que el fundador delega a personas que conozcas más un tema en específico; el fundador comienza a escuchar ideas y toma decisiones en conjunto de los empleados, quienes muchas veces son miembros de la familia núcleo [47].

Etapa 3. En esta etapa, para algunos autores es de sucesión de empresa, por lo que se destaca el liderazgo democrático al delegar todas las funciones al sucesor, sin embargo, aunque se realiza la sucesión, en ocasiones los fundadores aún siguen asistiendo a la empresa y su figura para la toma de decisión es importante [38], [47].

Etapa 4. En esta etapa hay dos sucesos que se desarrollan, el primero es que en ocasiones la empresa aún con el fundador con vida, decide integrar nuevos socios diferentes a los miembros de la familia, y el segundo es que, en ocasiones el fundador fallece, por lo que la empresa se divide en los herederos, y ellos integran un comité de accionistas siendo estos los miembros diferentes integrantes de sus nuevas familias o personas ajenas a la familia; por lo que el liderazgo es más representativo, en la toma de decisiones pero no de acompañamiento cercano [47].

Retomando el enfoque de interacción entre los miembros de la empresa, Cameron y Quinn [48] dentro de su instrumento OCAI, identifican el liderazgo organizacional con ciertas características, tales como: la innovación, el espíritu emprendedor y la toma de riesgos, orientado a lograr los resultados, facilitar, guiar; existen dos factores importantes que se deben de considerar en la interacción de empresa familiar y miembros de la familia; una es la estructura, pues al ser un establecimiento de jerarquía interno, marca la independencia laboral dentro de la organización, el siguiente factor de importancia son las funciones, pues con estas se determinan el actual de las personas en consideración al puesto que ocupan en la organización; ambos están ligados de manera organizacional, sin embargo, no se debe de olvidar que en las empresas familiares existe la relación de familia, que en algunos casos se llega a confundir entre la organización, esto lo explica Olson [49] su modelo circunplejo de Sistemas maritales y familiares, este modelo refiere que el funcionamiento de la familia es la interacción de vínculos afectivos, los cuales pueden cambiar con el fin de adaptabilidad. La importancia con este último punto, es que en una empresa familiar no se continúan con los roles establecidos en la interacción familiar, y si no se cuenta con la adaptabilidad para el reordenamiento de roles familiares en la organización, se pueden desatar conflictos en ambas entidades [50].

Metodología

Para la medición del estilo de liderazgo en las empresas familiares en consideración a la percepción de los miembros de la familia, en este estudio se emplea el instrumento de Cameron y Quinn [48] titulado Organizational Culture Assessment Instrument (OCAI) con el fin de interpretar tan solo la dimensión de liderazgo organizacional basado en el modelo de cultura organizacional; el instrumento se aplicó a los líderes organizacionales que son los fundadores de las empresas familiares estudiadas, así como, solo a los miembros de la familia que laboran en seis empresas familiares de tamaño micro y pequeñas en el estado de Aguascalientes, empleando el método del caso de estudio.

Dichas empresas se encuentran en las dos primeras etapas del ciclo de vida de las empresas familiares (emprendimiento y liderazgo); el método empleado en la investigación es de corte cualitativo, descriptivo, transversal, con un análisis cuantitativo. Las variables categóricas (emprendimiento y liderazgo) se presentan con letras y números (cuatro niveles cada una) y fueron analizadas mediante la prueba Chi-cuadrada de Pearson (χ^2). El análisis se llevó a cabo en el lenguaje de programación R v 4.0.0. mediante los paquetes *tidyverse*, *descr* y *vcd*. Las variables estudiadas son el tipo de miembros de la familia que laboran en la empresa familia y tipo de liderazgo [48] que esos miembros de la familia consideran se desarrolla en la actualidad. El análisis a estas empresas familiares pretende identificar la percepción de estilo de liderazgo de acuerdo con el tipo de relación familiar que los miembros de la familia tienen con respecto al fundador de la empresa.

Preparación

El instrumento validado OCAI de Cameron y Quinn [48], aplicado en diversas investigaciones sobre la cultura organizacional a niveles nacional e internacional, por lo que la validación del mismo se ha mostrado en investigaciones como las realizadas por Salazar [51], Rodríguez [52] investigaciones mencionadas en el apartado de antecedentes de ésta investigación.

Este instrumento consta de seis dimensiones: características dominantes, liderazgo organizacional, administración de empleados, pegamiento organizacional, énfasis estratégico y criterios de éxito [52]; para esta investigación solo se tomará la dimensión de liderazgo organizacional, con el fin de identificar la percepción de los miembros de la familia que laboran en la empresa en consideración a las características de liderazgo que se muestran a continuación.

Ítems	Pregunta que integra la dimensión de liderazgo.	Medición de ítems
Liderazgo organizacional	A. El liderazgo de la organización es generalmente usado para apoyar la innovación, el espíritu emprendedor y la toma de riesgos. B. El liderazgo de la organización es generalmente usado para lograr los resultados. C. El liderazgo de la organización es generalmente usado como un instrumento de facilitar, guiar y enseñar a sus miembros. D. El liderazgo de la organización es generalmente usado para coordinar, organizar o mejorar la eficiencia.	Escala Ordinal

Cuadro 4. Ítems de liderazgo organizacional

Como instrucciones del instrumento de medición, se pide lo siguiente:

- 1) Existen dos columnas, la primera con el título "Actual" y la segunda columna titulada "Preferido"; como el nombre de cada una indica, es como identifica el estilo de liderazgo que se lleva actualmente dentro de la empresa familia y la segunda es referente a cómo usted preferiría que se llevaba el estilo de liderazgo.
- 2) Responda la dimensión de liderazgo (ítems) acerca de la Cultura Organizacional. Cada uno de ellos contiene 4 alternativas (A, B, C, D).
- 3) Distribuya 100 puntos por la dimensión entre las cuatro, tres, dos o a una sola alternativa, dependiendo del grado de similitud que tenga la descripción del estilo de liderazgo que se lleva dentro de la empresa familiar.

Desarrollo

La aplicación del instrumento de medición OCAI, se realizó tan solo al fundador y a los familiares del fundador que laboran dentro de la empresa familiar, puesto que en todos los casos el fundador de la empresa familiar aún labora dentro de la misma. A continuación, se muestran los perfiles de las empresas estudiadas. Perfil de las empresas familiares Cuadro 5, 6 y 7. Perfil de las EF:

I. Perfil de la empresa	Estudio de caso de las empresas familiares	
Nombre de la empresa:	Caso 1.	Caso 2.
Ciclo de vida de la empresa:	Liderazgo.	Liderazgo.
Tamaño de la empresa:	Micro empresa.	Pequeña empresa.
Miembros de la familia que laboran en la empresa:	Fundadora, esposo de la fundadora y madre de la fundadora.	Fundador, hermanas de la fundadora, tío del fundador, padre y madre del fundador.

El fundador labora en la empresa:	Si.	Si
--	-----	----

I. Perfil de la empresa			Estudio de caso de las empresas familiares		
Nombre de la empresa:	Caso 3.	Caso 4.			
Ciclo de vida de la empresa:	Fundador.	Liderazgo.			
Tamaño de la empresa:	Micro empresa.	Pequeña empresa.			
Miembros de la familia que laboran en la empresa:	Fundador, esposa del fundador.	Fundador y esposa del fundador.			
El fundador labora en la empresa:	Si.	Si.			

Resultados y discusión

I. Perfil de la empresa			Estudio de caso de las empresas familiares		
Nombre de la empresa:	Caso 5.	Caso 6.			
Ciclo de vida de la empresa:	Liderazgo.	Liderazgo.			
Tamaño de la empresa:	Pequeña empresa.	Pequeña empresa.			
Miembros de la familia que laboran en la empresa:	Fundador e hijas del fundador.	Fundadora, esposo de la fundadora, hermana de la fundadora y padre de la fundadora.			
El fundador labora en la empresa:	Si.	Si.			

Los resultados de la aplicación del instrumento OCAI al fundador y a los miembros de la familia que laboran en la empresa sobre la dimensión de liderazgo organizacional son los siguientes:

<i>Liderazgo Organizacional</i>		CASO 1.	CASO 2.	CASO 3.	CASO 4.	CASO 5.	CASO 6.
		ACTUAL	ACTUAL	ACTUAL	ACTUAL	ACTUAL	ACTUAL
A	El liderazgo de la organización es generalmente usado para apoyar la innovación, el espíritu emprendedor y la toma de riesgos.	27	<u>32</u>	25	20	17	20
B	El liderazgo de la organización es generalmente usado para lograr los resultados.	<u>33</u>	24	<u>40</u>	25	23	20
C	El liderazgo de la organización es generalmente usado como un instrumento de facilitar, guiar y enseñar a sus miembros.	20	21	15	26	28	<u>30</u>
D	El liderazgo de la organización es generalmente usado para coordinar, organizar o mejorar la eficiencia.	20	23	20	<u>29</u>	<u>32</u>	<u>30</u>

Cuadro 7. Resultados del instrumento OCAI.

Los resultados descriptivos sobre el estilo de liderazgo organizacional actual de la totalidad de los miembros de la familia que laboran en la empresa y el fundador son los siguientes:

- Caso1.-** Tanto el fundador como los miembros de la familia consideran que liderazgo tiende a lograr resultados,
Caso2. Para esta empresa familiar, se considera que el liderazgo que se emplea se orienta a la innovación en consideración al espíritu emprendedor en la actualidad,
Caso3. En esta empresa, se identifica que el estilo de liderazgo actual es el orientado a lograr resultados,
Caso4. Esta empresa con base en los resultados se siente cómoda con el estilo liderazgo que lleva actualmente, este estilo tiende a ser coordinado, organizado y eficiente.

Caso5. Esta empresa considera que el liderazgo que con el que se desarrolla la empresa tiende a coordinar, organizar y ser eficiente,

Caso6. En este caso, existe una paridad en el estilo de liderazgo que los miembros de la familia consideran se lleva actualmente en la empresa, algunos de ellos consideran que el estilo del líder tiende a ser un facilitador y guía, por otra parte, otros miembros consideran que el estilo más bien se orienta a mejorar la eficiencia.

Ahora bien, identificando la relación familiar que se tienen entre el fundador y los miembros de la familia que laboran en la empresa, el resultado es el siguiente, para cada estilo de liderazgo se asignó su letra representativa

Ítems	Pregunta que integra la dimensión de liderazgo.	Tipos de miembros de la familia
Liderazgo organizacional	A. El liderazgo de la organización es generalmente usado para apoyar la innovación, el espíritu emprendedor y la toma de riesgos. B. El liderazgo de la organización es generalmente usado para lograr los resultados. C. El liderazgo de la organización es generalmente usado como un instrumento de facilitar, guiar y enseñar a sus miembros. D. El liderazgo de la organización es generalmente usado para coordinar, organizar o mejorar la eficiencia.	Fundador, Padres del Fundador, Hermanos, Otros (Pareja o Tíos)

Cuadro 8. Ítems del instrumento OCAI y tipos de miembros de la familia.

La tabla de contingencia del programa estadístico R nos arroja la siguiente información:

	A	B	C	D
Otros	2	0	2	2
Hermanos	1	1	2	0
Padres_f	1	1	0	3
Fundador	1	1	1	2

Tabla 1. De contingencia

En la presente tabla se muestran los datos recabados y tabulados de la población de los miembros de la familia dentro de la empresa familiar, registrada en relación con su percepción del estilo de liderazgo organizacional que el fundador desarrolla en la empresa familiar de los 6 casos de empresas estudiadas. El fundador se autoevaluación con un estilo de coordinación, organización y eficiencia, al igual que los padres perciben el mismo estilo organizacional por parte del fundador, los hermanos perciben el estilo del fundador como una guía orientado a ser facilitador, mientras que la pareja y los otros familiares consideran diferentes características en el estilo del fundador, algunos perciben el apoyo y la innovación, considerando el emprendimiento, otros como una guía y mejora a la eficiencia.

A continuación, se plantean las hipótesis a contrastar mediante el chi-cuadrado

. La percepción de estilo de liderazgo depende de la relación familiar de los miembros de la familia

Pearson's Chi-squared test

data: table_abs

X-squared = 6.4, df = 9, p-value = 0.6993

La prueba Chi-cuadrada de Pearson sugiere que no existe relación entre la percepción de estilo de liderazgo organizacional por la relación familiar entre el fundador y los miembros de la familia que laboran en la empresa familiar ($X^2= 6.4$, $P = 0.6993$). La interpretación se da con base en datos no normales, además que se identifican como, No obstante, los datos no son concluyentes, debido a que, es necesario elaborar más estudios en el que se incluya un tamaño de muestra más amplio. por el número de miembros de la familia que labora en cada una de las empresas familiares estudiadas.

Trabajo a futuro

En un futuro se pretende hacer un estudio entre la percepción de estilos de liderazgo organizacional de Cameron y Quinn [48] considerando la diferencia entre los miembros de la familia respecto del fundador y de aquellos

que laboran en la empresa y los miembros de la empresa que no pertenecen a la familia, con el fin de identificar el estilo de liderazgo que predomina en los estudios de casos a desarrollar.

Conclusiones

Tras revisión de literatura la cual señala que las interrelaciones que impactan a las empresas se encuentra el ciclo de vida de la empresa familiar así cómo la familia y la influencia de la misma sobre el fundador [53] además de considerar el modelo de Olson que nos habla sobre la cohesión y la adaptabilidad de los roles familiares en el ámbito laboral y referirse también a los estilos de liderazgo organizacional de Cameron y Quinn [48]; se puede decir en consideración a este estudio de 6 empresas familiares, donde la interrelación familiar como organizacional se lleva a cabo entre el fundador y sus padres, hermanos, pareja y tíos; el rol que ocupa cada miembro de la familia en ámbito familiar, no tiene relación con la percepción que los miembros de la familia tienen sobre el fundador como líder organizacional, por lo que, en conclusión en estas 6 empresas existe adaptabilidad de roles laborales y se deja a un lado el rol familiar.

Referencias

- [1] KPMG, Barómetro Europeo de la Empresa Familiar. Madrid, España: EFB Europea Family Business, 2017.
- [2] R. Carlock, J. Ward, *La excelencia en la Empresa Familiar*, España: Palgrave MacMillan, 2010
- [3] P. Leach, *Empresas Familiar*, México D.F: Ediciones Granica, S.A de C.V, 1991
- [4] S. Doderó, El ciclo de vida de las Empresas Familiares. *Revista temas de management*. Universidad de la CEMA, 2008.
- [5] W. Dyer, *Cultural change in family firms Anticipating and managing business and family transitions*: San Francisco, CA. EUA: Jossey-Bass, 1986.
- [6] A. Lozano, *Estilos de Aprendizaje y Enseñanza. Un panorama de la estilística educativa*, México: Trillas, ITESM Universidad Virtual – ILCE, 2000.
- [7] Bass, B. *Bass & Stogdill's handbook of leadership. Theory, research & managerial applications*. New York: The Free Press, 1990.
- [8] P. Hersey, K. Blanchard, W. Natemeyer "Situational Leadership, Perception, and The Impact of Power" *Group & Organization Studies*, 1979.
- [9] K. Baker, K. Wiseman, *Leadership, Legacy, and Emotional Process in Family Business*, Family Business Review, 1998
- [10] J. Ward, *The Special Role of Strategic of Planning for Family Business*. Colombia: Family Business Review, 1988.
- [11] E. Hoover, C. Hoover, *Getting along in family business: The relationship intelligence handbook*, New York: Routledge, 1999
- [12] D. Clifford, *The case of the floundering founder*, Organizational Dynamics, 4 (2), 21-33, 1975K.
- [13] Magnusen, *The legacy of leadership revisited*. Business Horizons, 38 (6), 3-7, 1995.
- [14] K. Gersick, J. Davis, M. Hampton, I. Lansberg, *Empresas Familiares. Generación de Empresas Familiares*, México DF: McGraw-Hill, 1997.
- [15] P. Boxall, *Achieving competitive advantage trough human resource strategy: Toward a theory of industry dynamics*, Human Resource Management Review, 8 (3), 265-288, 1998.
- [16] J. Leyva (2022,02,10). Empresas familiares representan el 90% de las unidades de negocio de México (El financiero) Newspaper. Available: <https://www.elfinanciero.com.mx/economia/2022/02/10/empresas-familiares-representan-el-90-de-las-unidades-de-negocio-de-mexico/>
- [17] M. Pérez, "Empresa y familia en México. Una visión desde la antropología", *Alteridades* vol. 22, no. 43, pp 319 2010
- [18] Banamex. (2008). Encuesta de empresas Familiares en México. Informe de Resultados. Available: en <http://www.mejoresempresasmexicanas.com/blog/wp-content/uploads/2011/03/Resumen-EmpresasFamiliares-.pdf>
- [19] DIF, (2006). Encuesta de la Dinámica Familiar del Diagnóstico de la Familia Mexicana. Sistema Nacional de la Familia Mexicana (SNDIF). Available: <http://www.televisa.com/todo-es-mejor-enfamilia/articulos/convivencia/440457/el-conflicto-familias-mexicanas/>
- [20] K. Lewin, Teoría del campo y experimentación en psicología social. Cuaderno N° 10 del Instituto de Sociología de la Fac. de Filosofía de la UBA, 1939.
- [21] R. Stogdill, "Personal factors associated with leadership: a survey of the literature". *Journal of Psychology* 1948
- [22] Fleishman. "Estudios de la Universidad Estatal de Ohio" *Leader Behavior Description Questionnaire* 1960

- [23] P. Drucker, *Managing in turbulent times*, New York: Harper & Row, 1980.
- [24] P. Hersey, Blanchard, H. Kenneth, D. Johnson, *Administración del comportamiento organizacional liderazgo situacional*, México: Editorial Prentice Hall,. 1998
- [25] R. Blake, J. Mouton, "The managerial Grid". *Gulf Publishing company*, Houston, Texas. 1964.
- [26] D. McGregor, *The human side of enterprise*. Mc GrawHill 1960.
- [27] V. Vroom, A. Jago, *Nuevo liderazgo*. Madrid: Ediciones Dfaz de Santos, S.A. 1990.
- [28] I. Chiavenato, *Introducción a la teoría general de la administración*, McGraw-Hill Interamericana, S.A.: Santafé de Bogotá, D.C., Colombia, 1999.
- [29] J. Ayoub-Pérez, *Estilos de liderazgo y su eficacia en la administración pública mexicana*. Lulu Enterprises, Inc., 2011.
- [30] J. Stoner, *Administración* Editorial Prentice- Hall Hispanoamericana: México, DF, 1996.
- [31] A. Lozano, *Estilos de Aprendizaje y Enseñanza. Un panorama de la estilística educativa*, México: Trillas, ITESM Universidad Virtual – ILCE, 2000.
- [32] J. Chrisman, J. Chua, P. Sharma, *Sources and Consequencies of Distintive Familiness; and Introduction. Entrepreneurship:Theory and Practice*, 2005.
- [33] L. Barnes, S. Hershon, "Transferring power in family business" *Harvard Business Review*, vol. 54 no.4, pp105-114, 1976.
- [34] P. Rosenblatt,, L. Demik, R. Anderson, P. Johnson, *The family in business: Understanding and dealing with the challenges entrepreneurial families face*. San Francisco: Jossey Bass, 1985.
- [35] V. Sanchez, A. Maseda, I. Erezuma, "Sucesión en la Empresa Familiar: Paternalismo y Género", *Revista Espacios*, vol 38, no. 11, pp. 24, 2017
- [36] J. García, M. Pérez, I. Sánchez, R. Basco, J. Jiménez, *Fundamentos en la dirección de la Empresa Familiar*; Ediciones Paraninfo, S.A. Madrid, España, 2013.
- [37] F. Kaslow, *The lore and lure of family business*. The American Journal of Family Therapy, 1993
- [38] S. Doderó, El ciclo de vida de las Empresas Familiares. *Revista temas de management*. Universidad de la CEMA, 2008.
- [39] L. Greiner, *Evolution and revolution as organizations grow*. Harvard Business Review, 1972.
- [40] K. Gersick, J. Davis, M. Hampton, I. Lansberg, *Empresas Familiares. Generación de Empresas Familiares*, México DF: McGraw-Hill, 1997.
- [41] F. Araque, Una aproximación teórica-conceptual para el estudio de las organizaciones familiares. *Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*. Maracaibo: Venezuela. Universidad Rafael Belloso Chacin, 2013.
- [42] M. De la Garza, J. Medina, N. Chein, K. Jiménez, , J. Ayup , Los Valores Familiares y la Empresa Familiar en el Nordeste de México. *Cuadernos de Administración, Ser. Organ.* Bogotá, Colombia, Enero- Junio, 2011.
- [43] Tápies, J. (2009). Empresa familiar: el valor en los valores, *Revista de antiguos alumnos*, IESE.
- [44] M. Serna, Empresas Familiares frente a las crisis. *Economía, Sociedad y Territorio*, 2012.
- [45] J. Kouzes, B. Posner, "The credibility factor: what followers expect tiom their leaders" *Business Credit*, 1996.
- [46] G, Aguirre, B. Serrano, G. Sotomayor, (2017,01). El liderazgo de los gerentes de las Pymes de Machala. Universidad y Sociedad [seriada en línea], Available: <http://rus.ucf.edu.cu/>
- [47] G. Gómez, Liderazgo en empresas familiares. Cada generación, un nuevo estilo, istmo. Available: en <https://www.istmo.mx/2015/09/02/liderazgo-en-empresas-familiares-cada-generacion-un-nuevo-estilo/>
- [48] K. Cameron, R. Quinn, *Diagnosing and Changing Organizational Culture*, Ed. San Francisco, CA: Jossey-bass, 2011.
- [49] Olson D, *Circumplex model: systemic assessment and treatment of families*. 1era Ed. EE.UU" Editorial Routledge,1989.
- [50] P. Ferrer, A. Miscán, J. Pino, V. Pérez, *Funcionamiento familiar según el modelo Circumplejo de Olson en familias con un niño que presenta retardo mental*, Rev enferm Herediana, 2013
- [51] A. Salazar, P. Navarro, Estudio de la cultura organizacional, según Cameron y Quinn: Caso de una empresa del sector asegurador Venezolano, *Universidad Católica Andrés Bello Facultad de Ciencias Económicas y Sociales Escuela de Ciencias Sociales*, 2008.
- [52] C., Rodríguez, L. Romo, Relación entre la Cultura y Valores Organizacionales, *Conciencia Tecnológica*, , Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México, 2013.
- [53] R. Beckhard, W. Dyer, Managing continuity in the family-owned business. *Organizational Dynamics*,12(1), 5-12. doi.org/10.1016/0090-2616(83)90022-0,1983.

Modelo de Innovación Administrativa como estrategia para el mejoramiento en PyMES

Administrative Innovation Model as a strategy for improvement in SMEs

A.I. Peña Montes de Oca,
Co- Autor E.A. Carrillo González, Co_Autor J.C. Ávila Hernández

Universidad Tecnológica de Jalisco, Cuerpo Académico: Responsabilidad Social, Sustentabilidad y Desarrollo Integral para Pymes adriana.isela@utj.edu.mx ID 1er. Autor ORCID 0001-8220-3108 CVU CONACYT ID:-70757

Universidad Tecnológica de Bahía de Bandera, Cuerpo Académico: Tecnologías de la Información para el Desarrollo Tecnológico de Bahía de Banderas javila@utbb.edu.mx ; ID 2do.Co- Autor ORCID 0000-0002-4606-358X

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

El artículo describe el proceso para el desarrollo de un modelo alternativo de innovación administrativa, que permita una mejora tal, que eleve la competitividad de PyMES, al promover prácticas eficientes en la producción cotidiana, el desarrollo tecnológico y procedimental para la gestión de cambio, enfocado hacia la creación de valor e innovación. La estructura y el desarrollo se logró a través de la plataforma de Google Chrome, que permite organizar información muy diferente, al tiempo que cumple con características de seguridad, rapidez, estabilidad, con orientación a trabajo colaborativo, puede ser instalado en casi cualquier sistema operativo y está disponible en 50 idiomas; alojando así el cuestionario: "Instrumento para medir el efecto de la Orientación Emprendedora y Capacidad de Innovación en PyMES" para la recolección de datos al interior de la Red Temática de Colaboración, evidencia para Sinergia Academia-Empresa MyPymes de México, de la Zona de Influencia de las Universidades Tecnológicas, integrada por los Cuerpo Académicos (CA's) UTBB-Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, Nayarit, el UTTT- Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji y la Universidad Tecnológica de Jalisco, para el análisis, se utilizaron los gráficos, producto de estadísticas descriptivas de la citada plataforma, base para la elaboración de un modelo propuesto de innovación administrativa que responda a las necesidades de desarrollo de PyMES.

Palabras clave: Evolución de PyMES, creación de valor, innovación.

Abstract

The article describes the process for the development of an alternative model of administrative innovation, which allows an improvement such that it raises the competitiveness of SMEs, by promoting efficient practices in daily production, technological and procedural development for change management, focused on the creation of value and innovation, The structure and development was achieved through the Google Chrome platform, which allows organizing vary different information, while complying with security, speed, and stability characteristics, with a collaborative work orientated characteristics, and can be installed on almost any operating system, and is available in 50 languages; thus hosting the questionnaire: "Instrument to measure the effect of Entrepreneurial Orientation and Capacity for Innovation in SMEs" for data collection within the Thematic Network evidence for Synergy Academy-MyPyMES Company of Mexico of the Zone of Influence of the Technological Universities, made up of the Academic Body (CA) UTBB-Technological University of Bahía de Banderas, Nayarit UTTT- Technological University of Tula Tepeji, and the UTJAL-Technological University of Jalisco; for analysis purposes, the graphs were used, product of descriptive statistics of the afore mentioned platform, basis for the elaboration of a proposed model of administrative innovation that responds to the development needs of SMEs.

Key words: Evolution of SMEs, value creation, innovation

Introducción

De acuerdo el Consejo Internacional para la pequeña empresa, más del 90% del total de las PyMES generan entre el 60 y 70% del empleo y son responsables del 50% del Producto Interno Bruto (PIB) a nivel mundial, según registros del 2018 [10]

Barrios Hernández, Contreras Salinas y Olivero Vega (2019) declara que existe un impacto en competitividad al implementar medidas para la gestión de procesos o procesos estratégicos integrales como los define [18]

En América latina, más específicamente en el caso de México, el INEGI clasifica a las MiPyMES para los sectores manufactura y comercio:

Para manufactura:

Micro: hasta 10 trabajadores, Pequeña: hasta 50 trabajadores, Mediana: hasta 250 trabajadores, Grande: más de 250 trabajadores.

Para servicios:

Micro: hasta 10 trabajadores, Pequeña: hasta 50 trabajadores, Mediana: hasta 100 trabajadores, Grande: más de 100 trabajadores

De manera general todas las MiPyMES comparten casi siempre las mismas características. Se presentan algunas:

- Creación de una sociedad financiera, con capital proporcionado por una o dos personas
- Los propios dueños dirigen la marcha de la empresa y su administración es empírica.
- La toma de decisiones recae en el propietario, se basan más en el trabajo que en el crecimiento de capital[3]

Si se observa con detenimiento la problemática de las PyMES y los emprendedores en México, es posible identificar, algunas causas que limitan su crecimiento:

- Falta de demanda o demanda inestable, por lo que es difícil la reducción de costos, el desarrollo de mejores prácticas, acceso a tecnologías y financiamiento.
- Modelo de negocio poco innovador, se requiere de propuestas que ofrezcan un valor sólido para sus clientes, más allá de su ubicación, conveniencia o tradición.
- Prácticas de gestión limitadas o falta de visión, se requiere la incorporación de tecnologías modernas, mejoras a la gestión de manera que le permitan acceder a otros mercados, ganando en competitividad. [7]

Asimismo, en estudios previos sobre el efecto de la innovación en el crecimiento, el desarrollo y el desempeño de las MiPymes [9], se comprueba la influencia significativamente positiva que tiene la innovación respecto al crecimiento, rendimiento, ventas y utilidades. Además, menciona que la innovación es un recurso estratégico para las empresas, que están buscando incrementar su competitividad y generar nuevas habilidades dentro del ambiente de los negocios; debido al gran impacto que tiene la innovación dentro de una empresa, se constituye en un factor clave para trabajar, desarrollando un rumbo sistemático de las habilidades de gestión metodológica, que permitirán la captura de nuevo conocimiento para estimular mejoras en la organización [2 y 13]

De acuerdo a Gallego, (2001), y Chivenato (2002)), la gestión administrativa, comprende procesos relacionados a planificar, organizar, dirigir, controlar y coordinar la empresa, lo que permite crear o añadir valor a través de sus funciones y actividades, con especial atención en las estructuras organizativas, que mantienen un control de las relaciones y responsabilidades que cada sección de la empresa, por medio de un sistema de comunicación oportuna y efectiva adaptándose al ritmo de trabajo que la empresa requiere; coherentes con los niveles operativos, tácticos y estratégicos.

Importante es reconocer a los recursos humanos como determinantes del éxito organizacional, Montoya Agudelo y Boyero Saavedra (2016), declararon: el futuro organizacional no solo depende

de su capacidad financiera, sino de su capacidad de cambio, contando con el personal idóneo y comprometido para responder a nuevas demandas.

El propósito del trabajo es identificar las necesidades y características principales de las PyMES, que mediante una sinergia, contribuyan a la cristalización de innovaciones y propicien ventajas competitivas, con la información obtenida, se propone una herramienta alternativa de innovación administrativa, que permita una mejora y eleve la competitividad a MIPyMES, al promover prácticas eficientes en la producción cotidiana, apoyadas en desarrollo tecnológico y procedimental para la gestión de cambio, con retos y riesgos asociados, enfocados hacia la implementación de estrategias que contribuyan a la generación de valor e innovación, con la finalidad de apoyar el desarrollo económico del país.

En la segunda sección del trabajo se presenta el marco conceptual, así como una revisión de la literatura y estudios empíricos relacionados con aseguramiento tecnológico y procedimental para la gestión de cambio, enfocados hacia la creación de valor e innovación. La tercera sección describe la metodología empleada, mientras que el análisis y los resultados se presentan en la cuarta sección, para finalmente presentar y discutir las conclusiones, limitaciones e implicaciones para futuras investigaciones

Metodología

En esta investigación, para la recolección de datos se empleó metodología de observación directa cuantitativa, se valoran los factores administrativos en la generación de valor en empresas de la red Sinergia Academia-Empresa Mypymes de México, durante el periodo abril – noviembre 2021. La investigación es de tipo transversal, se busca identificar diferencias para establecer relaciones, aunque debemos tener en cuenta que no es posible afirmar con seguridad una relación causal entre dos variables, como ocurre en la investigación experimental; por tanto el diseño utilizado es no experimental, cuantitativo, transversal y correlacional [10].

El alcance de la investigación es exploratorio, pues proporciona un acercamiento al fenómeno de estudio. Se usó el cuestionario: “Instrumento para medir el efecto de la Orientación Emprendedora y Capacidad de Innovación en PyMES” mediante de la implementación de un sistema Web integral para la Red Temática de Colaboración en la Zona de Influencia de las Universidades Tecnológicas, integrada por los Cuerpo Académicos (CA's) UTBB-CA-1 Tecnologías de la Información para el Desarrollo Tecnológico de Bahía de Banderas, Nayarit de la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, el UTTT-CA-5 Modelos Administrativos, Contables y Fiscales de la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji y el UTJAL-CA-2 Responsabilidad Social, Sustentabilidad y Desarrollo Integral para PyMES de la Universidad Tecnológica de Jalisco, el cual se desempeñó como coordinador de la Red Temática de Colaboración Académica (RTCA).

El cuestionario con 100 preguntas, consta de siete secciones: I) Enfoque humano, Competencia de los directivos II) Enfoque de empresarial. Capta las relaciones empresa-cliente productivas y eficientes, III) Enfoque de procesos. Papel de la tecnología como herramienta para fomentar la creación de valor, IV) Enfoque de desarrollo, Oportunidades, los riesgos para la toma de decisiones, V) Productividad, aprendizaje e innovación, Competencias que definen el futuro de la empresa VI) Enfoque financiero. Constituye el pasado y está integrado por los recursos y competencias y VII) Enfoque en virtud de la Orientación Emprendedora. [17]

Se emplearon las escalas: nominal y ordinal, intervalos y de proporción, cociente o razón [4].

Preparación

En esta fase se estableció un plan para el registro de la población objetivo, definiendo los procesos de preparación, diseño, programación e implementación, así como el formato, extensión, evidencia de cada uno de los criterios de seguridad, fiabilidad, disponibilidad, mantenimiento, así como las especificaciones técnicas.

Entorno Virtual

Cuenta con control de acceso a través de una cuenta de correo, para fines de aportación, modificación o ajuste de los contenidos.

La plataforma de Google Chrome, cumple con características de seguridad, rapidez, estabilidad, puede ser instalado en casi cualquier sistema operativo y está disponible en 50 idiomas, un entorno gratuito para creación de sitios web o intranet de forma sencilla, puede conjugar información variada: videos, calendarios, archivos adjuntos entre otros; por su orientación a trabajo colaborativo.

Cuando el código fue realizado, comenzaron las pruebas del software con las partes interesadas, para valorar la funcionalidad de todos los enlaces, asegurar que las actividades funcionan como fueron diseñadas, verificar gramática y ortografía, gráficos adecuados, componentes funcionales en diferentes entornos operativos, así como verificar que se estén cumpliendo las expectativas, en las cuatro características básicas e imprescindibles en toda plataforma: Interactividad, Flexibilidad, Escalabilidad y Estandarización, que serían evidenciadas al finalizar el ciclo, a través de un formulario en Google, en el cual se realizaron las encuestas con base en el: "Instrumento para medir el efecto de la Orientación Emprendedora y Capacidad de Innovación en PyMES" [17] .

Análisis de datos

Se realizó a través de un formulario de Google Site, se gestionaron y organizaron diversos enlaces para controlar el acceso de acuerdo con la necesidad, para el tratamiento de los datos con herramientas básicas de estadística descriptiva, proporcionados en el Site de Chrome.

El consenso para la identificación de las características principales de impulso en PyMES fue valorado como garantía de generalización, logrado por un ejercicio de síntesis de los registros, con la finalidad de evaluar la consistencia y descubrir patrones por categoría.

Criterios de valoración: A) Relevancia, B) Pertinencia, C) Susceptibilidad de cambio, D) Claridad, E) Congruencia, F) Confiabilidad, validez y objetividad [11]

Resultados y discusión

El proyecto se desarrolló de abril a noviembre 2021, participaron doscientas empresas y ciento noventa encuestas cumplieron con los criterios aplicables a la investigación, aceptables por representatividad. De éstas sólo el 86.3% declararon contar con algún tipo de proceso de mejora, aproximadamente un 38% de éstas empresas promueve el desarrollo tecnológico y la innovación; el 21% de estas empresas, tienen capacidad de adaptación para la incorporación de nuevas tecnologías; se refiere a modificaciones significativas que permitan una estandarización de la operatividad en máquinas y equipos, por medio de programas de software, para agilizar las comunicaciones en tiempo real, de manera que el usuario tome decisiones y adopte soluciones, oportunas y pertinentes.

Por otra parte, es importante señalar, que las innovaciones incrementales de producto ascienden al 50.2%, así pues, es pertinente desarrollar una propuesta administrativa de naturaleza flexible e innovadora que contribuya en la motivación del personal para trabajar en equipo y lograr objetivos comunes.

En PyMES, debido a que la recolección de datos relevantes es tarea difícil, primordialmente por la heterogeneidad de la producción industrial y por tratarse de un proceso fluido y de continuos cambios en pro de la mejora continua, se propone el desarrollo de nuevos Procedimientos Operativos Estandarizados, articulados como sistema al estar dinámicamente interrelacionados y ser interdependientes (Figura 1), los cuales favorezcan la ejecución de las operaciones, incluyendo las normas y/o criterios aplicables de calidad y seguridad, a fin de construir valor diferenciador.

Santelices, Herrera y Muñoz (2019) define que los directores de proyecto con su equipo de trabajo deben contar con la información a fin de tomar decisiones para la óptima distribución de sus recursos, al planificar, gestionar y controlar la calidad, a fin de potenciar la productividad.

Innovar el ramo administrativo, involucra el desarrollo del talento humano y la adopción de tecnologías para disminuir los costos de operación y mejorar la productividad, facilitando el logro de objetivos corporativos, incrementando la participación en el mercado y la ventaja competitiva ([1, 5, 6, y 16].

Peña Montes de Oca (2017) en su investigación sobre algunos de los factores principales en procesos de transferencia de tecnología entre EMN y PyMES de Tecnologías de la Información en Sonora, México, encontró que la Introducción de Técnicas de Investigación de Mercados, fortalecida con la Adopción de Procesos de Productos Nuevos para su Empresa pero Existentes en el sector, acompañado de Nuevas formas de Organización, fueron las variables con mayor potencial

discriminante en el impulso de la innovación, mismas que se confirman con los resultados obtenidos en el presente trabajo, correspondiente a la Red Temática de Colaboración, evidencia para Sinergia Academia-Empresa MyPymes de México, de la Zona de Influencia de las Universidades Tecnológicas, con herramientas básicas de estadística descriptiva producto de la aplicación del “Instrumento para medir el efecto de la Orientación Emprendedora y Capacidad de Innovación en PyMES” por lo que se propone como modelo de Innovación Administrativa el siguiente:

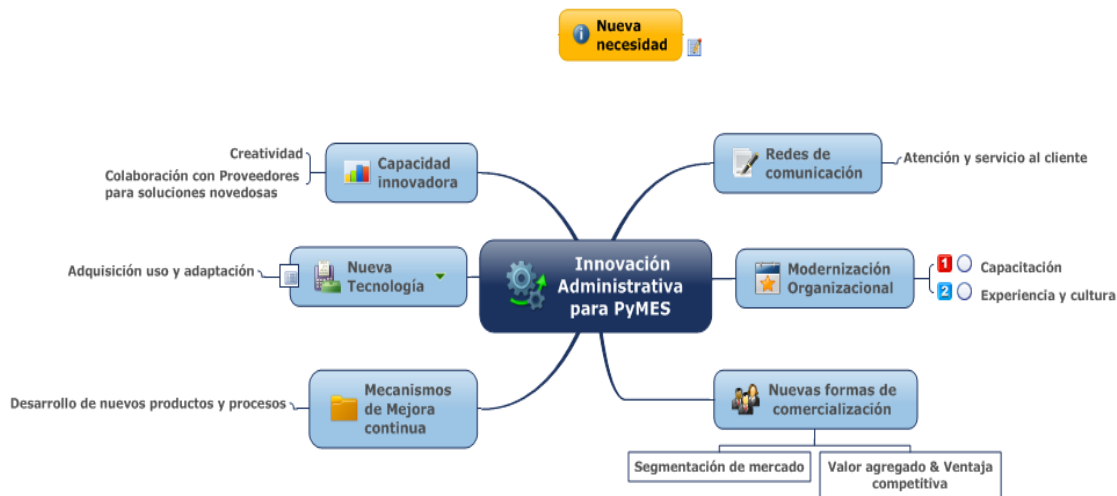


Figura 1: Modelo de Innovación Administrativa

La Innovación Administrativa influye directamente en la creación de ventajas competitivas, logradas a partir de personas que adoptan objetivos comunes y mantienen una visión de futuro sobre el crecimiento y posicionamiento de su empresa.

Para la implementación del modelo se requiere iniciar con una herramienta para detección de necesidades para elaboración del diagnóstico, seguido de una propuesta de reingeniería que contemple la integración nuevas tecnologías en los procesos, así con un sistema de información y reportes periódicos de variables & KPI en tiempo real, que permita la toma de decisiones y soluciones pertinentes y oportunas, a fin de conseguir un bien o servicio con valor único; base para desarrollar perspectivas de productividad, comercialización y rentabilidad, así como, procesos de la mejora continua con un alto nivel de compromiso.

Conclusiones

Las PyMES, por su tamaño tienen flexibilidad productiva e innovadora, que le facilitan el desarrollo de ventajas competitivas a través de variables relativas a Nuevas formas de comercialización, Modificación Organizacional, Comunicación, Adquisición y adaptación de tecnologías (Hardware y Software), Mejora Continua y Capacidad innovadora mediante el involucramiento de Proveedores, pues de acuerdo con los estadísticos de la investigación y la literatura son las que tuvieron mayor asociación para promover la generación de valor en PyMES, integrando conocimientos y estrategias a través del trabajo colaborativo[16].

Por otro lado, se hace necesario incrementar la inversión, quizá a través de programas y apoyos públicos, que favorezcan la diversificación, la generación de valor y la madurez de las PyMES.

Asimismo, las variables de asociación, deben ser tratadas con cuidado, teniendo en cuenta el tamaño de la muestra, el uso de variables cualitativas como nominales, sin considerar que puede existir relación entre las distintas respuestas.

Aún se requiere como segunda etapa, su implementación en campo, por un periodo extenso, de forma tal que permita validar el modelo, pues es indispensable preguntarse si se confirmarían como

variables significativas en una muestra mayor, con diferentes tipos de organización, localización geográfica, sector y nicho de mercado, etc.

Agradecimientos

Agradecemos al Rector de la Universidad Tecnológica de Jalisco, el Dr. Héctor Pulido González, por brindar los medios, mecanismos y facilidades para la realización de este proyecto derivado del trabajo del UTJAL-CA-2

Referencias

- [1] Barrios Hernández, K., Contreras Salinas, J. A., & Olivero Vega, E. (Marzo de 2019). *La Gestión por Procesos en las Pymes de Barranquilla: Factor Diferenciador de la Competitividad Organizacional*.
- [2] Bernal, C.A., Amayo, N., Gaviria-Peñaranda, A., y Zwerg-Villegas, A.M. (2020). *Conocimiento y desempeño organizacional en restaurantes franquiciados en Colombia*. Revista Internacional de Mercados Emergentes.
- [3] Cesaire, C., & Porcayo Albino, A. Y. (31 de agosto de 2017). Las MIPyMEs en el mundo: elementos para una redefinición. *Laboratorio de Análisis Económico y Social A.C.* Obtenido de <https://www.laes.org.mx/debate-economico-no-17/las-mypimes-en-el-mundo-elementos-para-una-redefinicion/>
- [4] Coronado Padilla, J. (2007) *Escalas de medición* Julio-diciembre, 2 (2) Bogotá D.C. pp 104-125.
- [5] de Wit, B., & Mayer, R. (2010). *Strategy Synthesis: Resolving Strategy Paradoxes to Create Competitive Advantage*. Centage Learning EMEA
- [6] Del Río Vásquez, J. (2017). *Gestión Organizacional en entornos complejos por parte de las MiPyMES del Sector Servicios de la Ciudad de Sincelejo..*
- [7] Flores Kelly, J. (25 de Abril de 2017). México 2050: ¿Y las Pymes qué? *Forbes México*. Recuperado el 17 de 09 de 2019, de Forbes: <https://www.forbes.com.mx/mexico-20150-y-las-pymes-que/>
- [8] Gallego, J. F. (2001). *Gestión de alimentos y bebidas para hoteles, bares y restaurantes*. Paraninfo.
- [9] García-Pérez deLema, D., Gálvez-Albarracín, E. J., & Maldonado-Guzmán, G. (2016). Efecto de la innovación en el crecimiento y el desempeño de las Mipymes de la Alianza del Pacífico. Un estudio empírico. *Estudios Gerenciales Journal of Management and Economics for Iberoamerica*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-59232016000400326&lang=es
- [10] Hernández s.R., Fernández, C.C. y Baptista, P. (2010) *Metodología de la investigación* (5ª. Ed.), México: Mc Graw-Hill
- [11] Jornet, J.M. (2016). Análisis de validez consecucional sobre el sistema de evaluación para el acceso a titulares y catedráticos de la universidad presentados por ANECA. Área de Educación (comisión 16), vol.1: *Consideraciones generales y de acceso al cuerpo de titulares de universidad*. Valencia: Universidad de Valencia

- [12] Minutos, 2. (01 de Julio de 2018). La ONU considera que las pymes son la espina dorsal de la económica y las mayores empleadoras del mundo. *20 Minutos*. Obtenido de <https://www.20minutos.es/noticia/3382959/0/pymes-microempresas-onu-economia-empleo/>
- [13] Molina Corral, L. A., Piñón Howlet, L. C., Sapién Aguilar, A. L., & Gallegos Cereceres, V. M. (2019). *Análisis de las Habilidades Administrativas y de Gestión en las Micro y Pequeñas Empresas de la ciudad de Chihuahua*
- [14] Montoya Agudelo, C. A., & Boyero Saavedra, M. R. (2016). *El Recurso Humano como elemento Fundamental para la gestión de calidad y la Competitividad Organizacional*.
- [15] Navarrete Báez, F. E. (2013). Las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas de la Zona Metropolitana de Guadalajara: una perspectiva hacia la gestión de su proceso de toma de decisiones. *Nova Scientia Revista de Investigación de la Universidad De La Salle Bajío*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052013000200010&lang=es
- [16] Peña Montes de Oca, A.I. (2017) *Deducción de factores principales que favorecen innovación, en procesos de transferencia de Tecnología entre EMN y PyMES de Tecnologías de la Información en Sonora México*, Quid No. 29 p. 60-65.
- [17] Peña Montes de Oca, A.I. y López Laguna A.B, (2020) *Instrument to measurement the effect of Entrepreneurial Orientation and Innovation Capability on SMEs*. *Journal Business Administration Marketing, Accounting* p. 16-22.
- [18] Porter, M. E., y Kramer, M.R. (2011) *Creating shared value*. *Harvard Business Review*, (February), 63-77
- [19] Santelices, C., Herrera, R., & Suñoz, F. (2019). *Problemas en la gestión de calidad e inspección técnica de obra: un estudio aplicado al contexto chileno* 010
- [20] Tarapuez, E., Guzmán, B. E., & Parra Hernandez, R. (2016). *Estrategia e innovación en las Mipymes colombianas ganadoras del premio Innova 2010-2013*

Análisis del proceso de capacitación y su impacto en la productividad de las empresas regionales

L.A. Viñas Meza¹, P. Ochoa Trujillo²

¹División de Ingeniería en Gestión Empresarial ²División de Ingeniería en Informática, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla, México
luisa.vm@teziutlan.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

En esta investigación, se analiza a la capacitación como un factor trascendental para el desarrollo de los trabajadores en su desempeño laboral. Para saber cómo es que la capacitación influye en los trabajadores es importante conocer el tema de capacitación, las técnicas que se utilizarán y los materiales interactivos que servirán como apoyo de explicación. Se utilizan diversos tipos de investigación y métodos que ayudarán a llegar a identificar los problemas que se pueden erradicar y proponer estrategias para solucionar estas disyuntivas. Dentro de esta investigación se identificaron los beneficios que los trabajadores obtiene al recibir la capacitación en la NORMA-035-STPS-2018, que habla sobre los riesgos psicosociales, además de que se aplica un método de recopilación de datos para después analizar los resultados para observar y analizar si en realidad ayuda a los trabajadores y si comprendieron el tema que se les impartió.

Palabras clave: Capacitación, Productividad, Desempeño Laboral, Estrategias

Abstract

In this research, training is analyzed as a transcendental factor for the development of workers in their work performance. To know how training influences workers, it is important to know the subject of training, the techniques that will be used, and the interactive materials that will serve as an explanation support. Various types of research and methods are used that will help to identify the problems that can be eradicated and propose strategies to solve these dilemmas. Within this research, the benefits that workers obtain by receiving training in the NORMA-035-STPS-2018, which talks about psychosocial risks, were identified, in addition to the fact that a data collection method is applied to later analyze the results for observe and analyze if it actually helps the workers and if they understood the topic that was taught to them.

Key words: Training, Productivity, Work Performance, Strategies

Introducción

Existen infinidad de tipos de capacitaciones, técnicas de impartición de cursos y ni se diga de los materiales didácticos para que sirvan de apoyo para el capacitador. Sin embargo, muy pocas empresas saben si en realidad las capacitaciones que ofrecen tienen un buen impacto en sus trabajadores y tal parece que no afecta en nada a los trabajadores, pero en realidad afecta más de lo que se piensa. La productividad depende de que tan a gusto se encuentren los trabajadores haciendo su labor dentro de la empresa, si el empleado no se siente como en su casa inventará infinidad de pretextos para no asistir, no llegar puntual a la hora de entrada o para pedir permiso y salir antes de su hora normal, afectando su rendimiento laboral y como consecuencia se verá reflejado en diferentes aspectos lo que puede orillar al trabajador a cambiar de trabajo.

Otro efecto que impacta en el empleado y que hace que no se sienta cómodo en su área de actividades laborales puede ser la relación que mantiene con sus compañeros, ya que a veces las relaciones laborales son complicadas porque no siempre se coincide en las mismas opiniones y los mismos puntos de vista ocasionando problemas entre ellos por lo que su clima laboral se torna de alguna manera "pesado" al no tolerarse entre de ellos generando una falta de respeto.

Es importante que la empresa analice si las capacitaciones tienen un impacto favorable en sus empleados y en la productividad, de no ser así debe revisar su plan de capacitación y establecer nuevas estrategias para mejorar.

Recursos Humanos

De acuerdo con los autores William B. Werther y Keith Davis, en el libro “administración de personal y recurso humano”, lo definen como: Grupo de actividades que buscan dar apoyo para generar nuevas competencias y cambiar posturas de todos dentro de los departamentos buscando un mejor rendimiento laboral. [1]

El objetivo de los recursos humanos es, ayudar a moldear la conducta de los trabajadores para que sea la más adecuada a desarrollarse de la mejor manera, además de ayudar a que incrementen su productividad, a esto se le conoce como capacitación laboral.

Así mismo, existen muchas definiciones de lo que son los recursos humanos, una de ellas es la que los autores Herbert J. Chrudden y Arthur W. Sherman Jr. proporcionan en su libro “Administración del personal” y hace referencia a: “Es la transición para apoyar a todos para incrementar el rendimiento, además, otorgar buena conducta cumpliendo con las necesidades de la organización. [2]

Dentro de cualquier empresa el departamento está obligado a impartir capacitaciones ya sea en el ámbito social o productivo, dependiendo el giro de la empresa, además de que, al impartir capacitaciones en el ámbito social, ayuda a que el ambiente laboral sea mejor y se eviten roces entre los mismos trabajadores y si tal es el caso de que surjan, el departamento sea capaz de encontrar una solución.

Capacitación

De acuerdo con la página web Premio ensayo dice que: Capacitar tiene como objetivo incrementar las aptitudes, habilidades y conocimientos, de los empleados, para poder así mejorar el desempeño laboral. Y para ello se debe conocer cómo es que fueron los principales métodos de capacitación. [3]

Cualquier trabajador de nuevo ingreso o que ya este dentro de la empresa, tiene derecho a la capacitación. La institución está obligada a impartir cursos de capacitación a los trabajadores de nuevo ingreso para mostrarle cómo deben realizar su trabajo y los resultados que debe obtener a la hora de desempeñar sus labores, así mismo a los que se encuentran ya establecidos dentro de la empresa, pueden recibir prácticamente cualquier tipo de capacitación, estas pueden ser relacionadas a las diferentes labores que desempeñan, capacitaciones en otras actividades dentro de la empresa o sobre las diferentes “NORMAS MEXICANAS”

Tipos de Capacitación

Existen diferentes tipos de capacitación entre los que se encuentran:

Capacitación para el trabajo: Esta capacitación tiene como finalidad instruir a los empleados para que puedan desempeñar las actividades establecidas, permitiendo un crecimiento profesional y personal para cumplir con las metas de la organización. [4]

Suele presentarse al personal que apenas se integra a la empresa, el propósito de esta capacitación es dar a conocer a los trabajadores cómo es que se labora dentro de la organización y qué procesos se llevan a cabo. Uno de los objetivos de este tipo de capacitación es que los nuevos integrantes tengan una visión panorámica y clara sobre las futuras actividades que realicen dependiendo en el departamento que sean colocados.

Capacitación en el trabajo: Complementa la anterior, ya que hace referencia a un proceso de enseñanza en el que los trabajadores se adaptan a las oportunidades poco inusuales que pudieran presentarse dentro de la institución. [4]

Esta capacitación hace un enfoque en los conocimientos y habilidades de cómo es que los trabajadores se desenvuelven en trabajos en equipo y hacer observaciones para que mejoren sus maneras de desempeñar su labor en alguna área en específico. Se utiliza cuando un trabajador desea cambiar de actividad o cuando la empresa toma la decisión para la optimización del trabajo.

Capacitación promocional: Se otorga cuando se encuentra una posibilidad de un ascenso dentro de la organización. [4]

Permite que se capten las necesidades del trabajador y se adquieren los conocimientos necesarios para que pueda trabajar de manera correcta y precisa, lo que permite al trabajador desarrollar nuevas habilidades y aprender cosas nuevas que en realidad les sirva.

Capacitación dentro de la empresa: Permite que los trabajadores tengan un mayor desarrollo personal tomando en consideración las nuevas capacidades y habilidades aprendidas que miden la efectividad través de evaluaciones. [4]

En este proceso de capacitación se dimensionan los procesos y se dejan fuera los procesos metódicos y aburridos puesto que varias veces no dejan buenos resultados entre los trabajadores.

Capacitación vivencial: Consiste más en la práctica ya que permite a los trabajadores sentir, ver, comprender y aprender de una forma no convencional, ya que se trata de capacitar fuera de lo común. [4]

Esta capacitación es a través de las experiencias, vivencias que se tienen dentro del trabajo, siendo posible que los equipos de trabajo tengan conocimiento de que significa trabajar en equipo. La capacitación vivencial permite una relación agradable entre los trabajadores.

Desempeño laboral

Hace referencia a la eficacia y eficiencia del trabajador que pertenece a la empresa donde se consideran las habilidades y conocimientos. [5] En términos generales, se dice que el desempeño laboral hace referencia al comportamiento y la forma en que los trabajadores hacen sus labores, se analizan su comportamiento tanto positivos como negativos y se debe revisar como sus actitudes impactan en la empresa.

Aspectos a evaluar del desempeño laboral

Productividad y calidad: se le denomina productividad cuando se llevan a cabo las tareas encomendadas en su totalidad y en el tiempo establecido todo esto combinado con herramientas de medición que permitan al empleado realizar las labores de manera óptima, a esto llamamos un trabajo de calidad. [5]

En primera instancia, es importante que al contratar nuevo personal la empresa de a conocer sus objetivos así para que los nuevos empleados se vayan familiarizando y tomen en cuenta las metas institucionales. Al conocer todo esto más a fondo, los trabajadores pueden mejorar su trabajo, pero al mismo tiempo mejorar la calidad del mismo.

Es recomendable que la empresa diseñe plantillas de productividad para que vaya midiendo el trabajo de cada uno de los trabajadores, así para que se tenga un control de toda la producción y se tenga una unidad de medida, dependiendo del control se pueden comparar los rendimientos y si existe alguna reducción, la empresa diseñe alguna estrategia para recuperar su nivel y mejorarlo.

Eficiencia: La eficiencia se denomina como la forma de realizar las actividades en tiempo y forma con lo establecido no solo por la empresa sino también por el consumidor final que dentro de todo son los que definen si el trabajo se realizó de manera eficiente. [5]

Las empresas planean en que tiempo se debe de entregar la producción tanto de un servicio o de un producto, la obligación de empresa y de los trabajadores deben entregar las cosas a tiempo, cuando se solicita un producto o servicio, el cliente da las características con las que se necesitan y es obligación de los trabajadores cumplir con las características solicitadas.

Actitud: Es un factor importante que se ve relacionado dentro del ambiente laboral al momento de llevar a cabo las actividades encomendadas. [5] Las actitudes de las personas, son las que permiten que las relaciones interpersonales sean posibles.

Las personas que tienen una buena actitud son capaces de tener una buena comunicación entre sus mismos compañeros facilitando las labores, logrando que se tenga un buen entorno laboral.

Esfuerzo: Una forma que también permite medir el desempeño de los trabajadores dentro de sus actividades. [5] Las personas deben de esforzarse en cualquier aspecto de su vida, para hacer un buen trabajo, ellos deben de esforzarse en realizar su trabajo para que todo lo que realicen lo hagan de mejor manera y sin que haya devoluciones de trabajo por cosas mal realizadas.

Trabajo en equipo: Siendo de los aspectos más importantes ya que permite realizar las actividades de mejor manera incrementando los resultados positivos. [5]

En cualquier lado, se necesita interactuar con las personas alrededor, sin embargo, no todas las personas saben cómo se deben de comunicar entre sí, para un trabajo en equipo, lo fundamental es que las personas aprendan a dialogar de forma respetuosa para arreglar sus problemas y llegar acuerdos que beneficien a ambas partes.

Cursos de capacitación

Los cursos son también conocidos como talleres, tienen como objetivo un parámetro claro que sea de beneficio para la empresa para obtener resultados positivos. [6]

Los cursos de capacitación, nacen a partir de las necesidades que la empresa detecta, por ello es necesario antes hacer una observación y medición todos los aspectos principales, una vez obteniendo los resultados del análisis antes mencionado, se evalúan y se comienza con la planeación de capacitación.

Existen dos formas de desarrollar un curso de capacitación, una de ellas es que la empresa lo desarrolle de forma interna ya sea por medio del departamento de capital humano que son los líderes del bienestar laboral de los trabajadores o de forma externa, ya que existen infinidad organizaciones enfocadas a la impartición o construcción de cursos de capacitación. Una vez terminando el curso de capacitación, es necesario aplicar encuestas de satisfacción para analizar si la capacitación ayudó al mejoramiento de su trabajo o de su persona dentro de la empresa.

NORMA Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018

Según la secretaria del trabajo: La **NOM-035-STP-2018** tiene dentro de su objetivo principal implementar los elementos para identificar, examinar y advertir los factores de riesgo psicosocial en el trabajo, así como para fomentar un entorno organizacional laboral muy satisfactorio en los centros de trabajo. Esta norma se aplica en todo el territorio nacional y aplica en todo tipo de organizaciones. Sin embargo, se puede aplicar dependiendo el número de trabajadores que laboran dentro de la institución, por consecuencia de lo anterior, se derivan tres niveles que son los siguientes: Centros de trabajo donde laboran hasta 15 trabajadores; Centros de trabajo donde laboran entre 16 y 50 trabajadores, y Centros de trabajo donde laboran más de 50 trabajadores. Al observar los niveles anteriores, la empresa tendrá que analizar en qué situación se localizan, para así cumplir con las disposiciones que correspondan de acuerdo con el número de colaboradores que se encuentran registrados. [7]

Esta norma es la encargada de identificar a los trabajadores que encuentran en riesgo psicosociales, además de fomentar un entorno saludable entre compañeros de trabajo.

Importancia de capacitar a los trabajadores en la NORMA 035

Los principales puntos sobre la importancia de capacitar a los trabajadores son: La fortaleza mental ya que es primordial y debe ser procesada con suma relevancia y con la misma prioridad que se le da a una situación de salud física. El equilibrio que existe entre el proceso laboral y particular del recurso humano de una empresa el cual debe hacerse respetar, porque gracias a esto puntos anteriores los empleados de la organización aumenta la productividad sin importar el género, al conocer la norma, los derechos o responsabilidades al respecto a un sano ambiente laboral. [8]

Para que una empresa trabaje de la mejor manera, es importante que los trabajadores cuenten con una buena salud, tanto física como mental, cuando alguno de ellos no está bien, comienza a reducir su productividad y esto lo puede afectar de manera negativa puesto que puede suceder un accidente en donde ponga en riesgo su integración física, por eso las empresas deben de certificarse en esta norma y ayudar a los trabajadores que se encuentren en este problema. Se busca tener un beneficio mutuo, ya que si el trabajador se encuentra en buena salud su productividad aumenta y además de que se les ayuda a salir del problema emocional en que se encuentre.

Metodología

Planteamiento del Problema

La empresa Confecciones Textiles de Teziutlán SA de CV (CONFETEX), está conformada por 5 plantas de producción y cada una de ellas cuenta con un supervisor que se encarga de verificar que cada trabajador realice sus funciones y de esta forma hacer que se logren las metas fijadas cada semana.

Al medir el rendimiento de los trabajadores del área administrativa se detectan algunas irregularidades dentro de las cuales se puede observar que el rendimiento no es el que debe ser, la empresa ha impartido algunos cursos de capacitación donde se tratan temas psicosociales como el trato entre compañeros y encargados de áreas, sin embargo se necesitan analizar las formas en que se imparten los cursos además de evaluar los resultados y el impacto que deja en los colaboradores y estudiar las consecuencia de la baja del rendimiento laboral.

Objetivo General

Analizar los datos obtenidos de las preguntas aplicadas a los empleados de la empresa CONFETEX S.A. de C.V. y determinar las causas por las cuales existen esos bajos rendimientos laborales, así como también hacer una propuesta de mejora en el plan de capacitación para incrementar las capacidades y habilidades de los empleados y se vea reflejado en su productividad.

Objetivos Específicos

- Conocer y examinar las características de la capacitación que se proporciona a los empleados en el área administrativa.
- Analizar los beneficios que la empresa obtiene al brindar la capacitación a los empleados.
- Distinguir como la capacitación influye en el perfil del puesto.

ALCANCES

Esta investigación se define como exploratorio-explicativo, puesto que se averiguan los factores psicosociales que afectan a los trabajadores por medio de la aplicación de la NORMA-035 además de que se analizan las

formas en que se aplica la capacitación en torno a esta norma y sus resultados para posteriormente brindar una mejora.

Así mismo la investigación exploratoria se utiliza para analizar las formas en cómo se aplican las capacitaciones, se observa el plan de capacitación, material didáctico, actividades interactivas y las técnicas que se utilicen para la impartición de la capacitación y la investigación descriptiva utilizada para referir todas actividades que se llevan a cabo en la empresa y posteriormente hacer un análisis de lo observado y describir como impacta la capacitación en los trabajadores y cómo influye en la descripción de puestos.

Por lo anterior se consideran otros aspectos importantes que son: Formas en las que se imparten los cursos de capacitación, análisis del impacto que los cursos tienen en los trabajadores y mala impartición de los cursos de capacitación. Estos 3 aspectos son los más importantes, puesto que, si se tiene una mala impartición de los cursos y además se obtienen resultados negativos, la empresa se ve afectada.

Enfoque de la investigación

El enfoque que se utiliza es Mixto, ya que se evalúan aspectos característicos y aspectos numéricos de las personas al ser entrevistados y al finalizar se realizara un análisis de lo observado, ya que el análisis principal es ver como la capacitación afecta a los trabajadores y como es que cambian las necesidades de puestos en la organización.

HIPÓTESIS

Hipótesis 1: Las formas en las que se imparten las capacitaciones son las correctas y se utilizan técnicas muy recurrentes.

Hipótesis 0₁: Las formas en las que se imparten las capacitaciones son inapropiadas y se utilizan técnicas poco usuales.

Variable independiente: formas en las que se imparten las capacitaciones

Variable dependiente: técnicas poco usuales

Hipótesis 2: No afecta en nada que la empresa no haga estudios para saber si las capacitaciones ya impartidas tuvieron efectos positivos.

Hipótesis 0₂: Si la empresa no hace estudios recurrentes de los cursos ya impartidos no se obtienen datos tangibles y no se sabe si la capacitación tubo resultados positivos.

Variables Variable independiente: no afecta a la empresa

Variable dependiente: las capacitaciones tuvieron efectos positivos

Hipótesis 3: A los trabajadores no les afecta en nada si las capacitaciones son mal impartidas.

Hipótesis 0₃: La mala impartición de los cursos de capacitación tienen efectos negativos en los empleados de la empresa.

Variables Variable independiente: no afecta a los trabajadores

Variable dependiente: capacitaciones mal impartidas.

SELECCIÓN DE MUESTRA

Para determinar la muestra, se toma como universo total a todos los empleados que conforman a la empresa CONFETEX S.A de C.V. obteniendo un total de 1292 empleados. De los cuales se toma como población al área de personal al administrativo, dando un total de 86 empleados que conforman esta población. Para la selección de muestra se utiliza la ecuación matemática que se visualiza en la Figura 1.

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}$$

Figura 1. Ecuación Matemática.[9]

La población se representa con "N" que corresponde a 86 empleados, la muestra se representa con la letra "n", el error se especifica con la letra "e²" que se determina como un 10% de error, el nivel de confianza es "Z²" que en este caso se requiere un 90% con un coeficiente de confianza de 1.65 y la proporción se representa con la letra "p" que se determina como 0.5% de proporción.

Desarrollo de la ecuación.

$N=86$
 $Z=1.65$
 $P=0.5$
 $e=.10$

Como resultado de la ecuación nos da 38, lo que quiere decir que, de nuestra población de 86 empleados del área administrativa, se eligen al azar a 38 colaboradores de la misma área.

RECOLECCIÓN DE DATOS

Existen diferentes tipos de métodos de recolección de datos, pero todos tienen el mismo propósito, hacer una recopilación de información, para que esta al final sea analizada y en base a eso se llegue a una conclusión y si es necesario desarrollar diferentes estrategias.

Selección de los instrumentos

Observación: Observar cómo es el método de impartición de capacitación, las reacciones de los trabajadores, ver quien está al pendiente de la plática y quien se distrae.

Entrevistas: Para esta investigación, el instrumento que se requiere aplicar es el de entrevista, puesto que la aplicación de esta es personal y se miden aspectos característicos sobre las capacitaciones y como la perciben.

Al finalizar la entrevista se utilizan medios digitales para graficar los resultados que son cuantitativos y cualitativos, para posteriormente analizarlos y obtener un resultado que justifique por qué se obtuvieron.

Aplicación del instrumento

Para la aplicación del instrumento de investigación, se requirió principalmente dar la plática sobre la NOM-035, para que al finalizar la capacitación se aplicará la entrevista que se observa en la figura 2, en la cual se hacen preguntas como si le gusto el curso, que tan importante fue para ellos esta capacitación etc.

Preparación de datos

Después de realizar las entrevistas, se procede a digitalizar los datos recabados para obtener las gráficas correspondientes y poder conocer los resultados. Para la digitalización de los resultados de la encuesta se utiliza la plataforma de Google Forms.

- ¿Te gusto el curso?
A) Si B) No
- En una escala del 1 al 3, donde 1 no es relevante y 3 es muy relevante ¿el tema te pareció relevante?
A)1 B)2 C)3
- ¿Cómo Piensas que te beneficia saber más sobre la NOM-35? _____
- ¿Cómo crees que beneficiara la relación entre tus compañeros y tu después de haber recibido la plática sobre la NOM-035? _____
- De los siguientes ejemplos, selecciona un riesgo psicosocial
A) Cumplir una meta personal.
B) Exigencia y presión de más en el trabajo.
C) Tener una relación plena con compañeros de trabajo.
- ¿Piensas que esta platica te ayudará a prevenir riesgos psicosociales en tu trabajo?
A) Si
B) No
- ¿Por qué? _____

Figura 2. Preguntas utilizadas en la entrevista a personal administrativo. Fuente: Elaboración Propia

Resultados y discusión

Después de la aplicación de la encuesta como se observa en la Figura 3, se obtienen resultados satisfactorios puesto que la mayoría de las personas encuestadas, tuvieron una respuesta positiva a la capacitación de la NORMA -035- STPS-2018.



Figura 3. Aplicación de la Encuesta a empleados del Área Administrativa de CONFETEX. Fuente: Elaboración Propia

La primera pregunta es cuantitativa y hace referencia a que, si a las personas que estuvieron presentes en la capacitación, les gusto el curso de las cuales el 89.5% de las personas entrevistadas dijeron que el curso de capacitación fue de su agrado, es decir que la técnica que se utilizó para impartir la capacitación fue la adecuada para que los trabajadores entendieran de que se trataba la NORMA-035 y comprendieran los conceptos que se explicaron. También se obtiene que un 10.5% de las personas que estuvieron presentes en la capacitación, no les agrado la plática, esto se debe a que no les gusto la manera en que se explicaron los temas o porque no pusieron atención a los puntos que se tocaron en la capacitación.

En la segunda pregunta de esta entrevista, se toma en cuenta que tan importante les resulto el tema de la NOM-035, de las cuales se les proporciono 3 respuestas y se obtuvieron los siguientes resultado s:
Como primer resultado se obtiene que un 61.1% de las personas que estuvieron presentes en la capacitación, encontraron que la plática fue de suma importancia para ellos, lo que quiere decir que estas personas les interesó saber más sobre la NOM-035. El segundo resultado fue que al 25% de las personas encuestadas la plática les resulto moderadamente importante, lo que indica que, a este porcentaje de personas, no les llamo la atención esta platica. Y como tercer resultado se obtiene que a un 13.9% de las personas que asistieron a la capacitación la consideran que no es relevante, lo que quiere decir que a esta porción de personas no les interesa saber sobre la NOM-035.

Las personas consideran que el saber más de esta norma, los beneficia a que ellos sepan cuáles son sus derechos y como debe de ser la convivencia entre compañeros, además de que ellos ya identifican cuales son los factores de riesgo psicosociales. Los trabajadores que contestaron las encuestas, explican que el saber más sobre la norma les ayuda a evitar malos tratos y si tiene malos tratos, saber a dónde acudir para que les brinden la ayuda necesaria, además de que conocen cuáles son sus obligaciones como trabajadores para tener un ambiente de trabajo pleno. También expresaron que el saber más sobre esta norma, les ayudará a mejor sus actitudes hacia sus compañeros y a reflexionar como es que sus acciones los pueden afectar.

Todas estas respuestas que las personas proporcionaron, indica que si supieron identificar qué acciones les perjudican, las consecuencias que pueden tener y la forma en las que impactan en sus compañeros de trabajo. Esta pregunta se manejó de manera abierta, porque las personas pudieran expresarse libremente.

La mayoría de las personas expresaron en la pregunta 4 que saber sobre esta norma les aporta muchos beneficios y uno de ellos es saber más sobre los derechos y obligaciones que ellos tienen como colaboradores de la empresa. Así mismo comentan que el saber sobre esta norma, es importante porque deben de entablar una buena comunicación entre compañeros de trabajo, además de que comprendieron que lo más importante para una relación sana entre compañeros es el respeto en todos los sentidos, respetar los puntos de opinión diferentes a los suyos, respeto a las decisiones que estos toman en el trabajo y sobre todo el respeto hacia la persona de cada uno de sus compañeros de trabajo.

El recibir esta capacitación sobre la norma, les extendió el panorama primeramente a que entendieran que las relaciones laborales deben de ser sin violencia, tratarse con respeto, tolerancia y que la comunicación que mantienen sea más abierta y más fluida, buscando las palabras más adecuadas en el momento para evitar malos entendidos, así como a comprender que el trabajar en armonía los beneficia mucho, que si existe la armonía todos son más productivos. Comprendieron que la base de toda buena relación es la comunicación y el respeto al dirigirse entre ellos mismos y tener confianza entre sí.

En la pregunta 5 manifiestan que al saber más sobre esta NOM-035 podrían identificar los riesgos psicosociales y que si un compañero está pasando por un caso de estos deben tratar de ayudarlo para que salga de ese problema. Además de que ellos ya identificaron a donde acudir para tratar situaciones de forma personal.

Para saber el grado de aprendizaje que las personas se llevaron después de la capacitación, se les realizó una pregunta donde ellos tenían que seleccionar en que oración se encontraba el ejemplo de un riesgo psicosocial, en esta pregunta se proporcionaron 3 posibles respuestas, donde solo una es la respuesta correcta.

El 64.9% identificó de manera correcta el ejemplo de un riesgo psicosocial, lo que indica que este porcentaje de personas comprendieron el tema de manera exitosa.

El 21.6% y el 13.5% de las personas no pudieron identificar cual fue el ejemplo de un riesgo psicosocial, lo que indica que es posible que hizo falta mencionar más ejemplos de la vida cotidiana para que pudieran comprender mejor la capacitación.

La pregunta 6 se divide en 2 secciones, la primera es donde las personas entrevistadas tenían que elegir entre dos respuestas, esta pregunta hace referencia que después de esta plática ellos podrían prevenir riesgos psicosociales en su día a día en su trabajo, a lo que el 92.1% de las personas contestaron que sí podrían prevenir riesgos psicosociales después de esta capacitación, lo que indica que ellas podrían identificar un riesgo y poder evitarlo.

Los trabajadores ya tienen más presente que el trabajo en equipo es mejor y que se debe de tener un buen compañerismo entre ellos, además de que ellos saben cómo prevenir todo tipo de riesgo.

Los encargados de área administrativa ya están enterados de los riesgos psicosociales y ellos deben de brindar la atención si se presenta alguna situación que ponga en riesgo moral o física a las personas que se encuentran a su mando e identificar que la obligación de la empresa es ayudarlos en caso de que lo necesiten, ya que esta debe de contar con el personal adecuado, además de que la atención debe de ser equitativa e igualitaria, además de que entendieron que se deben valorar unos a los otros y esto permite que su ambiente laboral sea mejor, también expresaron que al tener el conocimiento están más atentos de lo que sucede a su alrededor.

Por su parte, solo pocas personas indicaron que no podría hacer la identificación de un riesgo psicosocial y en esta segunda etapa de la pregunta 6 indicaron que los conceptos y temas que se abordaron en la capacitación, no les quedaron claros, por consecuencia el 7.9% no comprendieron el tema y esto los podría perjudicar porque por lo mismo que no saben identificar un riesgo no sabrán si ellos son víctimas de violencia laboral o si ellos son los que violentan a sus compañeros de trabajo.

Trabajo a futuro

Después de que la empresa impartió los cursos de capacitación, el perfil se ve modificado, puesto que, ahora se necesita que el trabajador que sea reclutado y seleccionado para el puesto vacante, cuente con actitudes específicas en cuanto a la convivencia laboral. Es importante que las personas que desarrollen alguna profesión sepan de esta norma, puesto que, conociendo los riesgos psicosociales, cambiaran los puntos de vista y se lograra un mejor ambiente laboral.

Es muy importante que la organización este al pendiente de las áreas de oportunidad que se puedan presentar entre sus trabajadores y tomar acciones correctivas para que no tengan consecuencias desfavorables. El departamento de capital humanos, debe saber y deberá de prestar atención a las quejas que los trabajadores puedan tener y este mismo desarrollar estrategias correctivas o de plano la rescisión de contrato laboral de la institución para que se mantenga un ambiente sano y una relación amigable entre trabajador – patrón.

Se deben de implementar como estrategia pláticas sobre el respeto hacia su persona y también hacia sus compañeros de trabajo y planear actividades integradoras para que los empleados interactúen entre de ellos y se conozcan un poco más. Además de que siempre se deben de elegir los temas de capacitación de manera acertada y que los materiales interactivos siempre tengan la información y ejemplos más específicos para que los trabajadores comprendan de una u otra forma los conceptos, también se deberá conocer todo el plan que se desea trabajar por parte del capacitar para que el encargado del departamento de capital humano de sus puntos de vista.

Conclusiones

En conclusión, la investigación resulta muy funcional, ya que dentro de la empresa no se analizaban datos de satisfacción después de cada capacitación, solo se impartían y la empresa desconocía su impacto. También se identifica que la forma y las técnicas que se aplican en las capacitaciones son las adecuadas, pero como todo siempre se puede mejorar.

Las capacitaciones siempre van ayudar a los trabajadores, para que sean más productivos y tengan un ambiente laboral donde se encuentren a gusto y no sientan la necesidad de buscar un nuevo empleo. Con cada nueva contratación de empleados las necesidades de la empresa van cambiando, puesto que, al lograr un ambiente laboral estable, las personas que son nuevas deben de acoplarse a clima laboral libre de violencia, por lo que el perfil de puesto se modifica porque las personas nuevas deberán de contar diferentes actitudes y aptitudes laborales para que en cierta forma no se genere la desintegración de un ambiente laboral amable.

La empresa debe de desarrollar diferentes proyectos para erradicar los riesgos psicosociales que se presenten, además que a las personas nuevas que se encuentren en el proceso de selección se les dé un curso rápido sobre esta norma para que en complementación con su experiencia y capacidades se sume las 71 actitudes y aptitudes necesarias para que cumplan con las necesidades de la vacante.

En lo que respecta a las hipótesis planteadas, se acepta la Hipótesis 1, ya que las formas y las técnicas que se utilizan son las correctas y recurrentes. Los materiales didácticos que se utilizan en las capacitaciones, son muy comunes puesto que se utilizaron presentaciones en PowerPoint que contienen toda la información para que los trabajadores comprendan el tema. En el caso de la hipótesis 0₁, se rechaza puesto que no se observan técnicas inapropiadas y malas formas de impartirlas, además no se utilizan materiales didácticos poco comunes.

Hipótesis 2: No afecta en nada que la empresa no haga estudios para saber si las capacitaciones ya impartidas tuvieron efectos positivos. Hipótesis 0₂: Si la empresa no hace estudios recurrentes de los cursos ya impartidos no se obtienen datos tangibles y no se sabe si la capacitación tubo resultados positivos. En el caso del planteamiento de estas hipótesis, se determinó que la hipótesis que se acepta es la número 0₂ ya que, si la empresa no realiza un análisis después de cada capacitación, no se sabe si la capacitación funciono o si tuvo un impacto positivo en los trabajadores o si entendieron el tema, la hipótesis 2 se rechaza, puesto que si la empresa no hace estudios o análisis después década capacitación si les afecta porque no saben a qué grado los trabajadores comprendieron el tema y las formas de aplicación de la capacitación n.

Hipótesis 3: A los trabajadores no les afecta en nada si las capacitaciones son mal impartidas. Hipótesis 0₃: La mala impartición de los cursos de capacitación tienen efectos negativos en los empleados de la empresa. En lo que corresponde a las ultimas hipótesis planteadas, se determinó que se acepta la hipótesis 0₃ puesto que la mala impartición de los cursos de capacitación tiene un efecto negativo en los trabajadores y un ejemplo se puede observar en las respuestas de los trabajadores en la entrevista que se aplicó, ya que, si la capacitación es mal

impartida o si se utilizan técnicas poco recurrentes, puede hacer que los trabajadores no comprendan los temas y se queden con dudas. La hipótesis que se rechaza es la número 3 ya que si afecta a los trabajadores si las capacitaciones son mal impartidas, puede hacer que los trabajadores no comprendan en su totalidad los conceptos que se plantean y esto ocasiona que se queden con dudas y por la pena ellos no pregunten para aclarar tus dudas.

Referencias

- [1] W. B. Werther y K. Davis, *Administración de Recursos Humanos*, Sexta ed., México, México: Mc Graw Hill, 2008.
- [2] . W. S. J. Herbert J. Chrudden, *Administración del Personal*, México: Cecsa, 2005.
- [3] COFIDE, 20 09 2021. [En línea]. Available: <https://www.cofide.mx/blog/tipos-de-capacitacion->. [Último acceso: 04 08 2022].
- [4] E. Premio, «<https://premioensayo.com/antecedentes-historicos-de-la-capacitacion-en-mexico/>,» 29 08 2021. [En línea]. Available: <https://premioensayo.com/antecedentes-historicos-de-la-capacitacion-en-mexico/>. [Último acceso: 04 08 2022].
- [5] BIZNEO, BIZNEO, 29 09 2021. [En línea]. Available: izneo.com/es-co/?utm_campaign=ADS-GO-BizneoHR-LAT&utm_term=bizneo&utm_content=596160245974&utm_medium=Advertisement&utm_source=GoogleAds&gclid=CjwKCAjw3K2XBhAzEiwAmmgrAtTjYMIIYXv6WI3ls6mtgV-3n5Jc_cb1w8Eh09f-qcP5KnpjOJc6BBoCAYgQAvD_BwE. [Último acceso: 04 08 2022].
- [6] «SIGNIFICADOS,» 05 02 2021. [En línea]. Available: <https://www.significados.com>. [Último acceso: 04 08 2022].
- [7] «Secretaría del Trabajo y Prevención Social. Gobierno de México,» 20 09 2018. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/stps/articulos/norma-oficial-mexicana-nom-035-stps-2018-factores-de-riesgo-psicosocial-en-el-trabajo-identificacion-analisis-y-prevencion>. [Último acceso: 04 08 2022].
- [8] «Universidad Valle de Grijalba,» 19 05 2020. [En línea]. Available: <https://uvg.edu.mx/blog/index.php/nom-035/>. [Último acceso: 04 08 2022].
- [9] S. B. R, «Universo Formulas,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.universoformulas.com/estadistica/descriptiva/muestra-estadistica/>. [Último acceso: 04 08 2022].

Estudio de mercado para la creación de un restaurante en H. Matamoros, Tamaulipas

A.C. Hernández Rodríguez*, C.G. Ocegueda Mercado, J. G. Rodríguez Martínez, M.A. Medina Álvarez
División de Estudios de Posgrados, Tecnológico Nacional de México Campus Matamoros, Carr.
Lauro Villar K.M. 6.5, C.P. 87490 H. Matamoros Tamaulipas, México.
*a.ceciliahdz@hotmail.com; corina.om@matamoros.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Se realizó un estudio de mercado con el objetivo para determinar la factibilidad para la creación de un restaurante en la ciudad de H. Matamoros, Tamaulipas esto con la intención de satisfacer las necesidades de consumo de los estudiantes y trabajadores del Instituto tecnológico de Matamoros (ITM) y zonas aledañas, para ello se realizó una investigación de corte cuantitativo, transversal, diagnóstica y descriptiva, se diseñó un cuestionario el cual consta de 15 preguntas que se aplicó mediante la plataforma Google Forms a 271 personas, de manera aleatoria las cuales fueron principalmente estudiantes y trabajadores del ITM además de personas que viven en zonas aledañas a dicha institución. Con base al análisis de los resultados obtenidos en esta investigación podemos constatar que existe mercado que pueda consumir nuestros productos.

Palabras clave: Estudio, Mercado, Factibilidad.

Abstract

A market study was conducted in order to determine if there is feasibility for the creation of a restaurant in the city of H. Matamoros, Tamaulipas with the intention of satisfying the consumption needs of students and workers of the Technological Institute of Matamoros (ITM) and surrounding areas, for this a quantitative, cross-sectional, diagnostic and descriptive research was conducted, a questionnaire was designed which consists of 15 questions that were applied through the Google Forms platform to 271 people randomly which were mainly students and workers of the ITM and people who live in areas surrounding the institution. Based on the analysis of the results obtained in this research, we can confirm that there is a market that can consume our products.

Key words: Study, Market, feasibility

Introducción

Gran parte de la actividad económica y empleos están ligados a las micro, pequeñas y medianas empresas, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) [1] en el 2019 en México habían 6.3 millones de establecimientos y 36 millones de personas ocupadas en ellos de los cuales el 62.6% del total de los establecimientos son informales. Un estudio de factibilidad para determinar la existencia de mercado nos puede ayudar a establecer si la empresa tendrá éxito, pues el estudio de mercado es la base de un plan de negocios en el cual se determina la demanda actual y futura de un negocio [2]. La finalidad de realizar un estudio de mercado es para reducir el riesgo de fracaso debido a que gran parte de las MiPymes tienen una duración de vida no mayor a los 10 años, esto debido a diferentes factores y uno de estos es desconocer sus consumidores potenciales.

Etapas del estudio de mercado

Pedraza [3] sugiere que un estudio de mercado debe de tener tres etapas, las cuales son:

- El estudio: en el cual se recopila la información por medio de una herramienta como los cuestionarios
- El análisis: en donde se procesan los datos recopilados
- El perfil: que es donde se determinan las características de cada grupo del segmento.

Metodología

Tipo de estudio

- Estudio transversal que de acuerdo con Arias [4] este tipo de diseño recoge los datos en un solo momento una sola vez.
- Investigación documental debido a que para poder contribuir con los fundamentos teóricos se realizó una investigación en diferentes fuentes de información [5].
- Investigación de campo, diagnóstica y descriptiva ya que se da en un ambiente natural, donde el investigador acude a recopilar información por medio de diferentes técnicas como la observación, cuestionarios, entrevistas, etc. [6] y se busca conocer las preferencias de consumo.

Población o muestra

En esta investigación se tomó a la ciudad de H. Matamoros Tamaulipas como población total, que de acuerdo con las estadísticas del INEGI [7] la población actual de la ciudad de H. Matamoros Tamaulipas es de 541,979. La población objetivo que se tomó en cuenta para la investigación está constituida por personas que se encuentran en el rango de edad de 15 años en adelante, la cual está conformado por 380,516 habitantes según estadísticas de INEGI.

Para el desarrollo del estudio de mercado se tomó como muestra el 0.7% de la población. Se consideró aplicar la encuesta a los habitantes de las colonias aledañas a la localización del negocio, de igual manera se aplicaron las encuestas a los estudiantes y trabajadores del Instituto Tecnológico de Matamoros.

Instrumento

Como método de recolección de datos se utilizó una encuesta como instrumento. Las preguntas realizadas para el cuestionario fueron en su mayoría de opción múltiple las cuales eran contestadas por las personas dependiendo de su edad, sexo, ocupación, gustos y poder de adquisición, de igual forma se implementaron preguntas en escala de Likert para poder saber qué es lo que más valoran de un restaurante a la hora de su compra.

Tabla 1. Resultados de la encuesta aplicada

Variable	Indicador	Núm. Pregunta en el instrumento	Opción de respuesta
Características demográficas	Edad	1	a) 15-18 b) 18-23 c) 24-30 d) 30-39 e) 40 en adelante
	Género	2	a) Masculino b) Femenino
	Ocupación	3	a) Estudiante b) Trabajador c) Ambos d) Ninguno
Preferencia en el consumo	Gusto por consumo de alimentos	4	a) Si b) No c) Ocasionalmente
	Frecuencia de consumo	5	d) 1-2 e) 3-5 f) 6-7

Preferencia en el consumo	Tipo de comida	6	a) Americano b) Continental c) Mexicano d) Saludable
	Tipo de desayuno	7	a) Casera b) Mexicana c) Rápida d) Saludable
	Tipo de postre	8	a) Arroz con leche b) Flan c) Pastel d) Pay
	Tipo de bebida	9	a) Agua natural b) Aguas de sabores c) Café d) Jugos e) Refrescos f) Tés
	Forma de consumo	14	a) Restaurante b) Servicio a domicilio
Importancia en la compra	Importancia de la calidad	10	Escala de Likert
	Precio	10	Escala de Likert
	Limpieza	10	Escala de Likert
	Servicio	10	Escala de Likert
	Ambiente	10	Escala de Likert
Poder de compra	Disposición al consumo de desayuno	11	a) 30-35 b) 35-40 c) 40-45 d) 45-50 e) 50+
	Disposición al consumo de comida	12	a) 35-45 b) 45-55 c) +55
	Pago con tarjeta	13	a) Si b) No
Redes sociales	Tipo de red	15	a) Facebook b) Instagram c) Twiter d) WhatsApp

Procedimiento de recolección de datos

En este caso el procedimiento de recolección de datos se realizó de manera virtual, utilizando los formularios de Google para la realización del cuestionario de preguntas con respuesta cerradas, el cual fue enviado por vía WhatsApp y Facebook Messenger para que pudiera ser contestado. La aplicación de la encuesta se efectuó a 271 personas como muestra poblacional.

Resultados y discusión

Análisis de las respuestas obtenidas con la encuesta

Tabla 2. Características demográficas

Características demográficas	Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Edad	a) 15-18	36	13%
	b) 18-23	114	42%
	c) 24-30	88	33%
	d) 30-39	19	7%
	e) 40 en adelante	14	5%
Sexo	a) Masculino	147	54%
	b) Femenino	124	46%
Ocupación	a) Estudiante	95	35%
	b) Trabajador	103	38%
	c) Ambos	71	26%
	d) Ninguno	2	1%

De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la encuesta se determinó que de las 271 personas entrevistadas el mayor porcentaje les corresponde a las personas de 18 a 23 años con 42%, después le siguen las personas con 24 a 30 años con un 33%, el 25% restantes de las 271 corresponde a los grupos de personas de 15 a 18 años, de 30 a 39 años y las personas con edad de 40 años en adelante. Del total de los encuestados 54% son hombres y 46% mujeres, de los cuales el 38% son trabajadores, el 35% estudiantes, el 26% estudian y trabajan simultáneamente y solo el 1% no tiene ocupación.

Tabla 3. Preferencias en el consumo

Preferencias en el consumo	Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Suele acudir a restaurantes	a) Si	101	37%
	b) No	38	14%
	c) Ocasionalmente	132	49%
Frecuencia de consumo de comida en un restaurante a la semana	a) 1-2	170	63%
	b) 3-5	89	33%
	c) 6-7	12	4%
Tipo de desayuno	a) Americano	50	18%
	b) Continental	41	15%
	c) Mexicano	148	55%
	d) Saludable	32	12%
Tipo de comida	a) Casera	88	32%

	b) Mexicana	83	31%
	c) Rápida	72	27%
	d) Saludable	28	10%
Tipo de postre	a) Arroz con leche	26	10%
	b) Flan	41	15%
	c) Pastel	62	23%
	d) Pay	142	52%
Tipo de bebida	a) Agua natural	24	9%
	b) Aguas de sabores	107	39%
	c) Café	43	16%
	d) Jugos	29	11%
	e) Refrescos	61	22%
	f) Tés	7	3%
Forma de consumo	a) Restaurante	182	67%
	b) Servicio a domicilio	89	33%

Conforme con los resultados obtenidos en las preferencias de consumo por parte de los encuestados se obtuvo que el 49% de las 271 personas encuestadas acuden ocasionalmente a un restaurante a comer o desayunar, del cual el 63% del total de los encuestados acuden de 1 o 2 veces por semana. En cuanto a que tipo de desayuno prefieren el 55% decidió que el desayuno mexicano y el tipo de comida el 32% prefiere comida casera y el 31% comida mexicana. También se obtuvo que la preferencia de los postres es de Pay con un 52% de las 271 personas encuestadas y el tipo de bebida de preferencia son las aguas de sabores con 39% del total de los encuestados. Con respecto a la forma de consumo el 67% de los encuestados prefiere comer en el restaurante que un servicio a domicilio.

Tabla 4. Importancia en la compra

Importancia en la compra	Muy importante	Importante	Indiferente	Poco importante	Nada importante
Calidad	184	22	23	12	30
Precio	106	61	69	14	21
Limpieza	180	27	21	11	32
Servicio	172	31	23	14	31
Ambiente	75	79	73	23	21

La Importancia en la compra involucran factores como la calidad, el precio, la limpieza, el servicio y el ambiente del lugar a donde los consumidores acuden a comer o desayunar, en los resultados que se obtuvieron la mayoría de los encuestados consideran muy importantes los factores como la calidad, el servicio y la limpieza, dejando el precio y el ambiente como menos valorados para ellos.

Tabla 5. Poder de compra

Poder de compra	Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Disposición de pagar por el consumo de desayuno	a) 30-35	7	2.6%
	b) 35-40	9	3.4%
	c) 40-45	19	7%

	d) 45-50	46	17%
	e) más de 50	190	70%
Disposición al pagar por el consumo de comida	a) 35-40	4	1.5%
	b) 40-45	7	2.6%
	c) 45-50	9	3.3%
	d) 50-55	32	11.8%
	e) más de 55	219	80.8%
Pago con tarjeta	a) Si	228	84%
	b) No	43	16%

De los resultados obtenidos de las encuestas pudimos recabar información sobre cuanto están dispuestas a pagar las personas por un desayuno o comida en un restaurante, el cual el 70% del total de los encuestados está dispuesto a pagar más de 50 pesos por desayuno y el 80.8% está dispuesto a pagar más de 55 pesos por comida, además de obtener información sobre la disponibilidad de realizar pago con tarjeta el cual el 84% de los encuestados respondió que sí.

Tabla 6. Preferencia en las redes sociales

Preferencia en redes sociales	Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Tipo de red social	a) Facebook	195	72%
	b) Instagram	37	14%
	c) Twitter	11	4%
	d) WhatsApp	28	10%

Con relación a la preferencia de las personas encuestadas sobre las redes sociales podemos decir que el 72% del total prefiere Facebook, lo cual nos ayuda a saber por dónde promocionar nuestro producto y captar mayor número de consumidores.

Análisis tablas cruzadas

Se realizó un análisis de tablas cruzadas mediante el programa Estadístico para la Ciencias Sociales (SPSS) para poder visualizar la relación que existe entre dos variables dentro de la encuesta realizada. Esto nos permitió identificar los diferentes patrones, tendencias y correlación dentro del estudio elaborado.

Tabla 7 Relación tabla cruzadas importancia del precio

	Importancia del precio				
Ocupación	Estudiante	Trabajador	Ambos	Ninguno	
	Muy importante 40.0%	37.9%	39.4%	50.0%	
Poco importante					50.0%
Género	Masculino	Femenino			
	Muy importante 34%	45.20%			
Edad	15-18	18-23	24-30	30-39	40+
	Muy importante 38.9%	36.8%	42.0%	57.9%	42.9%
indiferente					

Importancia de la calidad

Ocupación	Estudiante	Trabajador	Ambos	Ninguno	
Muy importante	66.3%	72.8%	63.4%	50.0%	
Nada importante				50.0%	
Género	Masculino	Femenino			
Muy importante	62.6%	74.2%			
Edad	15-18	18-23	24-30	30-39	40+
Muy importante	52.8%	63.2%	75.0%	78.9%	85.7%

Importancia de la limpieza

Ocupación	Estudiante	Trabajador	Ambos	Ninguno	
Muy importante	63.2%	71.8%	63.4%	50.0%	
Nada importante				50.0%	
Género	Masculino	Femenino			
Muy importante	57.1%	77.4%			
Edad	15-18	18-23	24-30	30-39	40+
Muy importante	50.0%	65.8%	70.5%	73.7%	78.6%

Importancia del ambiente

Ocupación	Estudiante	Trabajador	Ambos	Ninguno	
Muy importante	25.3%			50.0%	
Importante		33.0%	31.0%		
Indiferente				50.0%	
Género	Masculino	Femenino			
Muy importante	27.2%				
Importante	27.2%	31.5%			
Edad	15-18	18-23	24-30	30-39	40+
Muy importante			35.2%		57.1%
Importante		28.9%		52.6%	
Indiferente	36.1%	28.9%			

Importancia del servicio

Ocupación	Estudiante	Trabajador	Ambos	Ninguno	
Muy importante	62.1%	63.1%	66.2%	50.0%	
Nada importante				50.0%	
Género	Masculino	Femenino			
Muy importante	55.8%	72.6%			
Edad	15-18	18-23	24-30	30-39	40+
Muy importante	52.8%	60.5%	68.2%	73.7%	71.4%

Al hacer el análisis se tomaron los factores que tienen importancia a la hora de hacer una compra como el precio, la calidad, la limpieza, el ambiente y el servicio, cada uno de estos factores se relacionó con los aspectos demográficos de las personas los cuales son la ocupación, el género y la edad. Como resultado podemos

visualizar de una manera más clara la valoración que se le dan a cada uno de los factores dependiendo de la edad, el género y la ocupación.

De acuerdo con los resultados obtenidos de esta investigación los cuales nos ayudaron a conocer si existe factibilidad de mercado, pudimos conocer las necesidades de nuestro mercado meta al cual hemos decidido servir. El análisis nos ha podido dejar ver de forma detalla la importancia de los diversos factores contra los aspectos demográficos y tomarlos en cuenta para poder establecer el éxito en el mercado. El realizar el estudio de mercado nos puede garantizar el logro de la aceptación en nuestro mercado objetivo.

Trabajos a futuro

El trabajo a futuro que se tiene es la puesta en marcha de el restaurante como parte del proyecto de investigación se deben de concretar las estrategias y los mecanismos de apoyo financiero para dar continuidad y alcanzar el éxito deseado. Por otra parte se sugiere la realización constante de encuestas para detectar cambios en las preferencias de los consumidores y áreas de oportunidad para incorporar nuevos productos y evaluar la calidad de los servicios del restaurante.

Conclusiones

La investigación realizada en este presente trabajo se trata de un estudio de mercado el cual nos ayudó a saber la existencia de factibilidad de mercado para la creación de un restaurante en la ciudad de H. Matamoros, Tamaulipas. Por lo cual como resultados de las encuestas realizadas a las 271 personas obtuvimos que las edades de nuestros posibles consumidos oscilan de los 18 a 30 años y que en su mayoría estudian y trabaja por lo cual hemos llegado a la conclusión que nuestros principales consumidores serian estudiantes y trabajadores del Instituto Tecnológico de Matamoros. Pudimos percatarnos que el restaurante que demandan este segmento es un restaurante de comida mexicana y que en su mayoría pueden pagar un desayuno o comida. Esto nos permite determinar que si existe factibilidad para poder crear un restaurante que se enfoque a este tipo de consumidores los cuales al ser estudiantes y trabajadores tienen tiempo limitado para comer y que para poder lograr el éxito de nuestro restaurante es necesario tomar en cuenta los diferentes factores de importancia que mayormente fueron valorados sin excluir ninguno.

Referencias

- [1] INEGI, "Estadísticas a propósito del día de las micro, pequeñas y medianas empresas (27 De Junio) datos nacionales", *Comun. Prensa Num 285/20*, núm. 55, pp. 1–5, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2020/MYPIMES20.pdf>.
- [2] A. C. Luna, *Plan estrategicos de negocios*, Primera ed. Grupo editorial patria, 2016.
- [3] Ó. H. Pedraza, *Modelo del plan de negocio para las micro y pequeña empresa*, Primera. México: Grupo editorial patria, 2014.
- [4] J. L. Arias, *Proyecto de tesis y guía para la elaboracion*, Primera Ed., núm. tabla 1. 2020.
- [5] C. Bernal, "Metodologia De La Investigacion". 2016.
- [6] C. Ocegueda, *Metodologia de la investigación*. México: Albox Editores, 2015.
- [7] INEGI, "Panorama sociodemográfico", *Censo Población y Vivienda 2020.*, 2021, [En línea]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_e_struc/702825197858.pdf.

Metodología para la determinación del precio de venta en las MyPES del Turismo Rural Poblano

D. Gómez Bonilla¹, G. Mejía Méndez, L.E. Hernández Galindo.

Div. de Ingeniería en Administración. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla, Carretera Acuaco-Zacapoaxtla, Km 8. Colonia Totoltepec. C.P. 73680.

jdgozbonilla@gmail.com

Área de participación: Ing. Administrativa

Resumen

Las MyPES pertenecientes al sector turismo rural poblano, son negocios que desarrollan productos en su mayoría artesanales o prestan servicios basados en experiencias rurales, culturales y de aventura, altamente requeridos por el mercado nacional, su diseño y comercialización están orientados completamente al cliente, suelen contar con estructuras pequeñas y operar con costos mínimos, pero buscando la rentabilidad a corto plazo. En México, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), a través de sus Indicadores Trimestrales de la Actividad Turística (ITAT) [1], estimo que en el primer trimestre de 2022 y con cifras desestacionalizadas, el producto interno bruto turístico aumento 3.4% y el del consumo turístico interior, 4.2%, sin embargo, uno de los cuestionamientos que existe entre los emprendedores de este sector es ¿a qué precio de venta oferto mi producto o servicio?, por lo que es importante contar con la metodología para la determinación del mismo.

Palabras clave: MyPES, Turismo Rural, Metodología, Precio de venta.

Abstract

The MyPES belonging to the rural tourism sector in Puebla, are businesses that develop mostly artisanal products or provide services based on rural, cultural and adventure experiences, highly required by the national market, their design and marketing are completely customer-oriented, they usually have with small structures and operate with minimal costs, but looking for short-term profitability. In Mexico, according to the National Institute of Statistics and Geography (INEGI), through its Quarterly Indicators of Tourism Activity (ITAT) [1], I estimate that in the first quarter of 2022 and with seasonally adjusted figures, the tourism gross domestic product increase 3.4% and that of domestic tourism consumption, 4.2%, however, one of the questions that exists among entrepreneurs in this sector is: at what selling price do I offer my product or service?, so it is important to have the methodology for its determination.

Key Words: MyPES, Rural Tourism, Methodology, Sale Price.

Introducción

En la actualidad, entre las nuevas generaciones, hablar de emprendedurismo o emprendimiento ya no es un tema que cause asombro o un tema desconocido e inalcanzable, más bien, se ha convertido en un tema tan común, que podríamos presumir que pudiéramos equiparlo con la búsqueda de empleo para algunas generaciones pasadas, es decir, que para las generaciones actuales (millennials y cristal), es más común emprender y crear empresas, que buscar empleo.

Si bien, el mundo del emprendimiento se ha convertido en una tendencia indispensable para generar recursos económicos entre los jóvenes, la naturaleza y el proceso de dicho desarrollo económico entre estos, puede variar considerablemente entre países, en función a regulaciones administrativas, legales y fiscales, así como también el impacto social y ambiental, aunque es importante considerar que de cada 100 empresas que se crean, 90 de ellas no llegan a los 2 años, muriendo en el intento [2].

Por otro lado, en México según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), a través de su estudio sobre la Demografía de los Negocios, estima que existen poco más de 4.4. millones de emprendedores, dentro de las micro, pequeñas y medianas empresas, sin contar todo aquel emprendimiento que se da y se encuentra dentro de la informalidad o el sector no regulado, y según un estudio realizado por Forbes menciona que existen cerca de 4.2 millones de MIPyMES, las cuales aportan el 52% de PIB y generan un 70% de empleos estables, estudio analizado por D. Torres [3], a pesar de ello, una de las preguntas más constantes que existe entre los emprendedores es la de ¿a qué precio de venta oferto mi producto o servicio?, y es de suma preocupación el tener

desconocimiento total o no total sobre el establecimiento del precio de venta, ya que es una variable que nos puede llevar a que el negocio sea rentable, o que se vaya a la quiebra.

Según la Secretaría de Desarrollo Rural, Puebla ofrece la oportunidad de conocer y vivir la experiencia del agroturismo como una expresión auténtica de la riqueza cultural de los habitantes del estado, por lo que a través de la localización de puntos agroturísticos estratégicos, se busca incrementar el turismo tanto nacional como internacional y de esta forma diversificar e incrementar los ingresos de las familias rurales que participan en México, mediante la oferta de rutas como la del mezcal, la manzana, el café, vainilla entre otros [4].

Así mismo, la Secretaría de Turismo del Estado de Puebla [5] establece que el estado destaca en México y el mundo por su cultura y su biodiversidad, distribuido a lo largo de 32 regiones, es guardiana de bosques, ríos, lagunas, sierras, volcanes, y caminos que conducen a pueblos y atractivos, tesoros de nuestra historia nuestro legado, y por tanto, promueve destinos que contribuyen a la reactivación económica y ofrecen una experiencia turística bajo los principios de solidaridad y respeto de las identidades culturales y el medio ambiente.

Fernández (2009), identifica algunas problemáticas por las cuales las MIPyMES de cualquier sector fracasan mencionando que el 43% presentan errores administrativos, 24% tropiezos financieros, 24% problemas fiscales, 16% son ventas y cobranza, 4% problemas de producción y en un 3% tienen problemas con los insumos [6]. Como se observa, esta situación es totalmente menester al conocimiento y orientación de cómo identificar cual es la situación que vive cada empresa que vive y sobrevive en el mercado.

Por tanto, es de suma importancia establecer algún proceso o metodología que apoye a cada uno de estos empresarios o administradores de las MyPES del sector Turismo Rural a determinar el precio de venta adecuado y óptimo, en función a sus necesidades y operación, para evitar así, la muerte de la unidad económica y ganar el prevalecer y evolucionar en el mercado.

Metodología.

Para desarrollar la metodología que sirva de guía o apoyo en el establecimiento del precio de venta de los productos y/o servicios ofertados por las MyPES del sector turismo rural ubicadas en los municipios de Cuetzalan, Zacapoaxtla y Tlatlauquitepec de la región nororiental del Estado de Puebla, se aplicó una investigación con enfoque cuali - cuantitativo, teniendo que identificar documentos, libros, artículos, encuestas, que proporcionaran el conocimiento de metodologías o procesos ya existentes. El enfoque fue el planteamiento del problema que tienen este tipo de negocios a partir de ciertas preguntas de investigación de manera general realizadas aquellos negocios que se encuentran inmersos en el sector del turismo rural, de los municipios de Cuetzalan, Zacapoaxtla y Tlatlauquitepec, para posteriormente poder plantear una metodología que pudiera abarcar puntos sensibles e indispensables en la determinación y establecimiento del precio de venta.

Materiales

Herramienta diagnóstica

Para realizar el diagnóstico situacional en función a las bases y variables que consideran los dueños o administradores de estos negocios, se desarrolló una herramienta de encuesta la cual consiste en una batería de preguntas estableciendo los criterios necesarios a evaluar, atendiendo la operatividad y lo que debe cubrir a través de los ítems.

Batería de preguntas

El desarrollo de la batería de preguntas fue estructurado y aplicado mediante la herramienta digital "Forms", con la finalidad de identificar, analizar, interpretar y evaluar las bases y variables que los dueños o administradores de estas unidades económicas utilizan para la toma de decisión relacionada con el precio de venta y que a continuación se expone como ejemplo.



ENCUESTA SOBRE EL PRECIO DE VENTA EN EL SECTOR TURISMO RURAL

El objetivo de esta encuesta es conocer como los diferentes sectores que integran el turismo rural fijan el precio de venta de sus productos y/o servicios ofertados en el mercado regional

Dicha información será útil para la redacción de un artículo sobre cómo el sector turismo rural de las regiones de Zacapoaxtla, Cuetzalan y Tlatlauquitepec, establecen el precio de venta a sus productos y/o servicios.

Tiempo empleado: 15 minutos

jdgomezbonilla@gmail.com (no compartidos)
[Cambiar de cuenta](#)

Figura 1. Encabezado de encuesta, google Forms, Fuente propia

Nombre del negocio

Tu respuesta

Giro comercial

Cafeterías

Restaurantes

Bares

Artesanías

Hoteles

Guías de turismo

Centro recreativo o vacacional

Otro: _____

Ubicación

Figura 2. Ejemplo de baterías, google Forms, Fuente propia

Preparación

Se aplicó un cuestionario con enfoque cuantitativo, el cual nos permitirá conocer e identificar las bases y variables que actualmente los dueños y/o administradores de este tipo de unidades económicas consideran para el establecimiento de los precios de ventas de sus productos y/o servicios, posteriormente fue de tipo documental con la finalidad de obtener, seleccionar, interpretar y analizar información sobre el objeto de estudio, por último la hipótesis de diseñar una metodología que permita establecer el proceso adecuado y óptimo para la toma de decisión relacionada al precio de venta de los productos y/o servicios ofertados por las MyPES del sector turismo rural.

Desarrollo

El procedimiento consta de tres etapas en donde la primera tiene la encomienda de obtener información documental, en la segunda la aplicación de una batería con el propósito de analizar a los negocios ya existentes y conocer la forma en que establecieron sus precios de venta, y en la tercera identificar la gestión administrativa de manera integral y así identificar los pasos para poder establecer la metodología adecuada en el establecimiento de precio de ventas de los productos y/o servicios ofertados por las MyPES del sector turismo rural.

Resultados y discusión

El instrumento de investigación fue aplicado a una muestra obtenida con base al total de unidades económicas. El instrumento se aplicó durante el mes de junio del 2022. Para poder determinar la población objetivo, se tomaron en cuenta los datos estadísticos obtenidos de las propias direcciones de turismo de los municipios de Cuetzalan, Zacapoaxtla y Tlatlauquitepec sobre las micro y pequeñas empresas del sector turismo rural, y se utilizó la fórmula estadística para la determinación de la muestra, para la cual se tomó en cuenta el 90% de confianza y un 10% de error permisible.

$$n = \frac{\frac{Z^2(p)(1-p)}{\beta^2}}{1 + \left(\frac{Z^2(p)(1-p)}{\beta^2 N}\right)}$$

N= 200

P= probabilidad a favor 50%

Q = probabilidad en contra 50%

D= margen de error calculado con $z= 1.28$ al tener un nivel de confianza del 90% $\beta = 0.1$ al tener un nivel de precisión del 90%

$$n = \frac{\frac{(1.28)^2(0.5)(1 - 0.5)}{(0.05)^2}}{1 + \left(\frac{(1.28)^2(0.5)(1 - 0.5)}{(0.05)^2(200)}\right)} n = \frac{\frac{(1.63)(0.25)}{0.0025}}{1 + \left(\frac{(1.63)(0.25)}{(0.0025)(200)}\right)} n = \frac{\frac{0.4096}{0.0025}}{1 + \left(\frac{0.4096}{.50}\right)} n = \frac{163.84}{1.8192} n = 90.0615$$

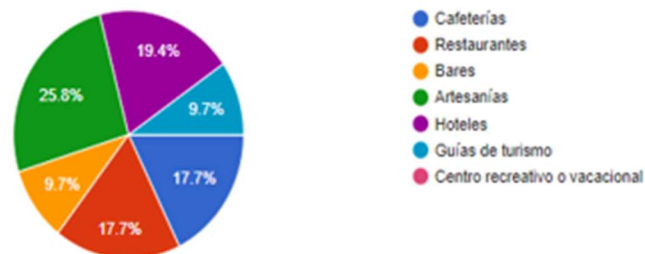
$n = 90.0615$

Para la recolección y recopilación de datos se llevó a cabo la utilización de herramientas informáticas, del programa "Google Forms", en donde se emplearon métodos para lograr obtener información cuantitativa para la representación gráfica.

Primeros resultados

Giro comercial

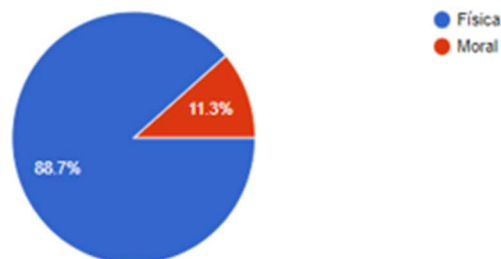
La siguiente gráfica nos muestra que las principales actividades que existen enfocada al turismo rural es la de los artesanos con un 25.80%, seguida de los servicios de hotelería con un 19.40% y de servicios gastronómicos y de guías con un 17.70%.



Gráfica 1. Giro comercial

Forma de consolidación o trabajo

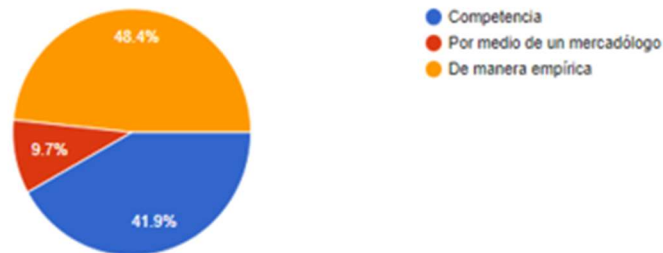
Lo que podemos observar con los resultados obtenidos, es que la forma de trabajar que sobresale en esta zona del estado y específicamente en las MyPES del sector turismo rural, es la forma de una persona física con un 88.70%.



Gráfica 2. Tipo de régimen

Establecimiento del precio de venta

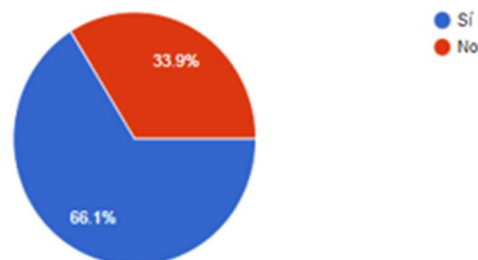
Esta gráfica es prácticamente la base del porqué de este trabajo de investigación debido a que nos muestra el proceso actual de la forma en que los dueños y/o administradores de estos negocios establecen el precio de venta de sus productos y/o servicios, lo cual es algo preocupante ya que por un lado el 48.40% lo hace de forma empírica y por el otro, con un 41.90% fijándose en su competencia.



Gráfica 3. ¿Cómo estableció el precio de venta del producto y/o servicios?

Valuación de inventarios

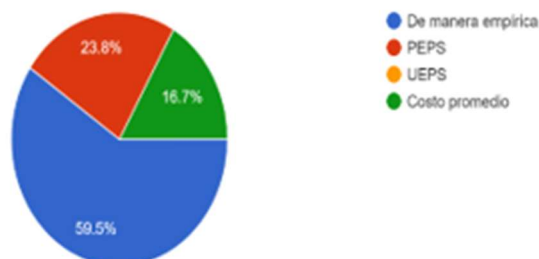
Lo que se busca identificar con esta gráfica es la forma en como controla sus inventarios, ya que el costo es una variable fundamental para la determinación del precio de venta y cómo podemos observar, con un 66.10% la mayoría de estas unidades económicas aplica algún método de valuación de sus inventarios.



Gráfica 4. ¿Aplica algún método para la valuación de sus inventarios?

Método de valuación de inventarios empleado

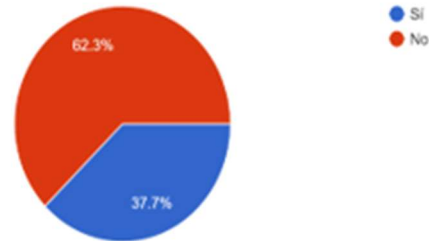
Esta gráfica complementa a la anterior y lamentablemente podemos observar que, aunque la mayoría de las MyPES del sector turismo rural si lleva una valuación de sus inventarios, la misma mayoría con un 59.50% lo hace de forma empírica.



Gráfica 5. ¿Qué tipo de método aplica para la valuación de sus inventarios?

Asesoría profesional en la determinación del precio de venta

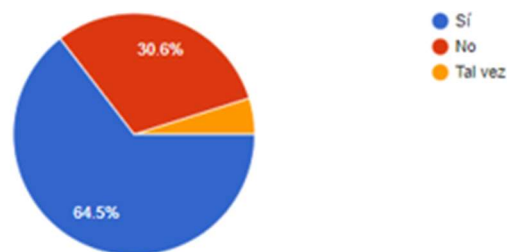
Como podemos observar, con un 62.30% la mayoría de estas unidades económicas al iniciar su negocio y/o durante la vida del mismo no solicita asesoría de algún Mercadólogo, contador o administrador para el establecimiento del precio de venta de sus productos y/o servicios.



Gráfica 6. ¿Al iniciar o durante la vida de su negocio solicita algún tipo de asesoría profesional para el establecimiento del precio de venta?

Competencia como punto de referencia para mantener un precio de venta competitivo

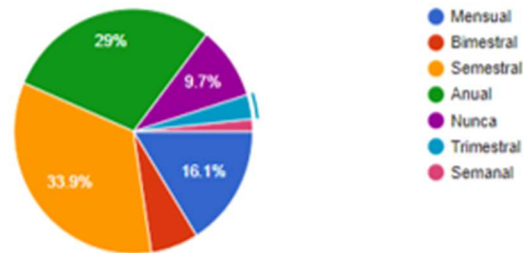
Con el resultado que muestra la siguiente gráfica, podemos darnos cuenta que lejos de que al iniciar su negocio se basaron en la competencia para estipular el precio de venta, también la consideran para mantener un precio de venta competitivo, ya que el 64.50% de la muestra indica que, durante la vida de su negocio, siguen tomando como base indispensable los precios de la competencia para mantener un precio de venta competitivo.



Gráfica 7. ¿Usted considera los precios de venta de la competencia como punto de referencia para mantener un precio de venta competitivo del producto y/o servicio que oferta?

Estudio de mercado

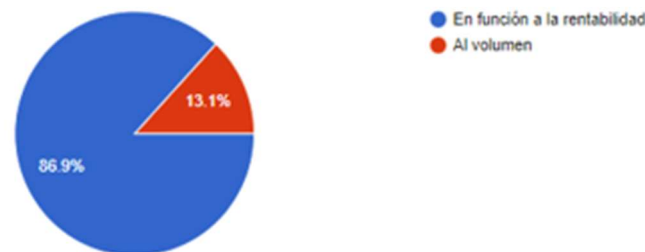
La siguiente gráfica nos muestra la periodicidad con la cual el dueño o administrador de la MyPES realiza ya sea de manera profesional o empírica algún estudio de mercado que le permita identificar si su precio de venta aun es adecuado con el mercado en donde se encuentra.



Gráfica 8. ¿Cada que tiempo realiza un estudio de mercado de forma empírica o profesional para identificar si el precio de venta de los productos y/o servicios que ofrece es el adecuado?

Variable que le indican que el precio de venta establecido es el correcto para el negocio

Si bien debemos de vigilar que el precio de venta sea el adecuado para el cliente, también es importante cuidar que en todo momento este actualizado y sobre lejos de cubrir los costos totales, este deje un buen margen de rentabilidad, por lo que la siguiente gráfica nos permite saber en función a que variable el dueño o administrador del negocio se da una idea de que el precio de venta establecido es el adecuado para el negocio, y con un 86.90% podemos observar que ellos se fijan más en la rentabilidad que en el volumen de sus ventas.

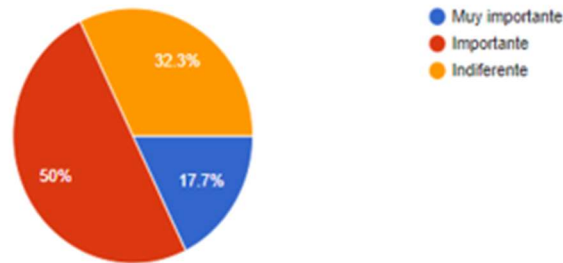


Gráfica 9. ¿En función a que variable considera que el precio de ventas de los productos y/o servicios que oferta es el adecuado para el negocio?

Implementación de técnicas o procesos para el establecimiento y vigilancia del precio de venta

Lo que la siguiente gráfica nos muestra es que tan importante es para el dueño y/o el administrador del negocio el apoyo y contratación de los servicios de un profesional para la implementación y actualización del precio de venta de sus productos y/o servicios, y con un 50% identificamos que, si lo consideran importante, aunque un 32.30% les resulta indiferente, por lo que la presente propuesta de una metodología para el establecimiento del precio de

venta, busca mitigar ese porcentaje de unidades económicas que piensan que no precisamente es fundamental el establecimiento de estrategias, herramientas y técnicas financieras, para el establecimiento del precio de venta.

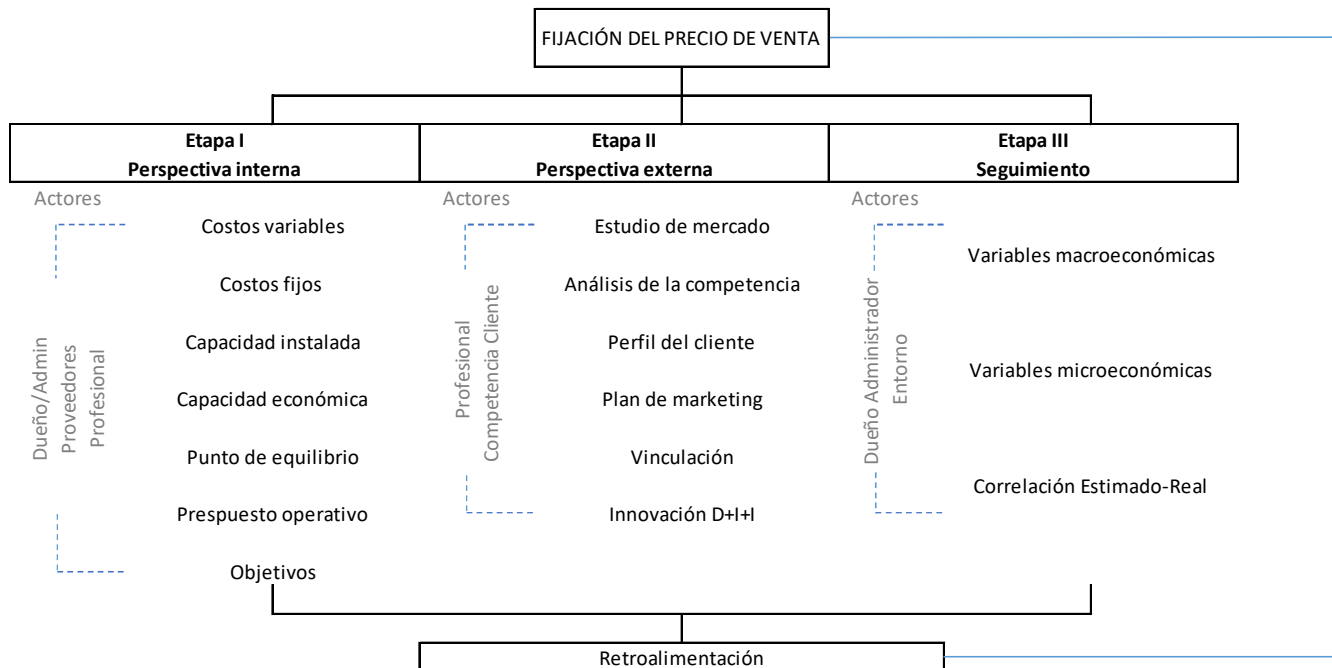


Gráfica 10. ¿Qué tan importante considera la contratación de los servicios de un profesional para el establecimiento del precio de venta del producto y/o servicio?

Últimos resultados

En función a la obtención, análisis e interpretación de los resultados obtenidos a través de la aplicación de la batería a 90 MyPES del sector turismo rural de los municipios de Cuetzalan, Zacapoaxtla y Tlatlauquitepec, todos ellos ubicados en la Sierra Nororiental del Estado de Puebla, y apoyándonos en una investigación documental, se prosigue con la propuesta de una metodología que le permita al dueño y/o administrador de este tipo de unidades económicas, a establecer el precio más adecuado tanto para sus clientes, el cual le permita una permanencia indefinida dentro del mercado, como también para el negocio, que le permita márgenes de contribución justos y con ello su patrimonio se vea maximizado de una manera económica.

Por lo que a continuación se presenta y describe dicha metodología:



A continuación, se prosigue con la descripción de los conceptos que integran cada una de las etapas del modelo.

Costos variables: Son aquellos que cambian totalmente en proporción con los cambios relacionados con el nivel de actividad o volumen total.

Costos fijos: Son aquellos que se mantienen estables en su totalidad durante cierto periodo de tiempo, a pesar de los amplios cambios en el nivel de actividad o volumen total.

Capacidad instalada: Se refiere a la capacidad que tiene el negocio de producir algún producto o de prestar algún servicio.

Capacidad económica: Fuerza económica medida en unidades monetarias.

Presupuesto operativo: Herramienta financiera que permite proyectar el comportamiento de la producción partiendo de lo que se quiere vender y en función a la capacidad instalada.

Punto de equilibrio: Herramienta financiera de apoyo a la planeación, en la cual y a través de la interacción de los costos variables, costos fijos y precio de venta, nos muestra el momento en que los ingresos del negocio son iguales a los egresos del mismo, es decir, nos dice a partir de cuantos productos vendidos se empieza a obtener un margen de contribución.

Objetivos: Se refiere a la forma en que se quiere generar la rentabilidad la cual pudiera ser en función al margen de contribución o al volumen de ventas.

Estudio de mercado: Es la identificación, recopilación, análisis, difusión y uso sistemático y objetivo de la información, con el propósito de ayudar a la administración a tomar decisiones relacionadas con la identificación de oportunidades y solución de problemas [7].

Análisis de la competencia: Evaluar la competencia directa e indirecta, a través de matrices de valuación.

Perfil del cliente: Identificar características específicas del consumidor ideal, por ejemplo, estilo de vida, procedencia, nivel socioeconómico, etc.

Plan de marketing: Identificar la correlación existente de las variables, producto, precio, plaza y promoción, a través de las 4 etapas establecidas en el plan estratégico de marketing.

Vinculación: Llevar acabo el conjunto de actividades, acciones y estrategias en caminadas a poder generar relaciones públicas y privadas que permitan alianzas estratégicas que disminuyan costos operacionales.

D+I+I: Identificar el proceso de Desarrollo, Investigación e Innovación, que generen un valor agregado al producto o servicio.

Variables macroeconómicas: Se refiere a variables económicas de carácter general.

Variables microeconómicas: Se refiere a variables económicas de carácter individual.

Correlación Estimado-Real: Se refiere a enfrentar lo estimado en el presupuesto operativo con lo que paso en realidad, para con ello poder identificar aquellos cambios y tomar decisiones más certeras para el futuro.

Retroalimentación: Es el proceso mediante el elemento de salida se convierte en el elemento de entrada dentro de un sistema o proceso, con la intención de llevar a cabo una mejora continua.

Trabajo a futuro

Para poder consolidar esta metodología será necesario aplicarla a diferentes tipos de MyPES del sector turismo rural en los municipios de Cuetzalan, Zacapoaxtla y Tlatlauquitepec, ubicados en la Sierra Nororiental del Estado de Puebla, con la intención de poder establecer métricas que nos permitan medir los resultados obtenidos en función a los objetivos establecidos de cada una de estas unidades económicas y con ello finalmente poder proponerlo para su aplicación en más municipios de la región.

Conclusiones.

Las MYPES del sector rural, son un pilar fundamental en el desarrollo económico, cultural y social de municipios que cuentan con bastos atractivos turísticos, por lo que es de suma importancia que cada una evolucione y logre una competitividad segura, así como la consolidación de sus procesos, siendo responsables sobre los recursos que tiene, cómo los emplea y cuál es su productividad de los mismos. Establecer una metodología para el establecimiento del precio de ventas de los productos y/o servicios ofertados por estas unidades económicas es sin duda alguna indispensable, ya que ayudará a que, mediante un proceso establecido, se tenga una interacción sinérgica entre técnicas y métodos con la experiencia de los dueños de este tipo de negocios y con ello se consolide el correcto precio de venta, que por un lado le garantice la permanencia en un mercado local-regional y por el otro, le permita al dueño conseguir una maximización económica de su patrimonio.

Referencias

- [1] I. N. d. E. y. Geografía, «INEGI,» ITAT, 29 JULIO 2022. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/app/saladeprensa/noticia.html?id=7472>. [Último acceso: 01 AGOSTO 2022].
- [2] S. Grabinsky Steider, *La empresa familiar*, México: Nacional, 1992.
- [3] D. Torres, «CompuSoluciones,» Ventures, 20 Agosto 2020. [En línea]. Available: <http://www.compusoluciones.com/blog/pymes-mexicanas-en-2020/>. [Último acceso: 17 Julio 2022].
- [4] S. d. D. Rural, «SDR,» Gobierno de Puebla, 01 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://sdr.puebla.gob.mx/municipios-agroturisticos>. [Último acceso: 7 Junio 2022].
- [5] S. d. T. d. E. d. Puebla, «visitpuebla,» Safetravels, 2021. [En línea]. Available: <https://www.visitpuebla.mx/es/turismo-rural#>. [Último acceso: 20 Junio 2022].
- [6] J. C. Fernandez, *Porque Mueren las Pymes*, Querétaro: ECORFAN, 2009.
- [7] M. Naresh k., *Investigación de mercados*, México: PEARSON, 2010.

EL PAPEL DE LA MUJER EN LA MELIPONICULTURA DE LA REGIÓN SUR DEL ESTADO DE YUCATÁN

F.Y. Parra Argüello¹, R.A. Navarrete Canté², A.J. Leal Osorio³.

¹Instituto Tecnológico Superior del Sur del Estado de Yucatán y fparra@suryucatan.tecnm.mx, ²Instituto Tecnológico Superior del Sur del Estado de Yucatán y navarrete@suryucatan.tecnm.mx, ³Instituto Tecnológico Superior del Sur del Estado de Yucatán y aleal@suryucatan.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa.

Resumen

La meliponicultura es una actividad dedicada a la conservación y cuidado de la abeja melipona que se caracterizan por la ausencia de aguijón, almacenan recursos en sus colmenas, tales como miel, polen y propóleo. Las abejas sin aguijón representan salud mental para los ecosistemas donde habitan y equilibrio en la medida que participan activamente en los procesos de polinización de la mayoría de la flora. El papel de la mujer en esta actividad ha llamado mucho la atención sobre todo en el Sur del Estado de Yucatán, es por ello, que el presente trabajo pone especial énfasis en el análisis del papel, responsabilidades, actividades y diferentes roles que desempeñan las mujeres dentro de esta actividad.

Palabras clave: Meliponicultura, Mujeres, Desarrollo Regional.

Abstract

Meliponiculture is an activity dedicated to the conservation and care of the melipona bee characterized by the absence of stinger, store resources in their hives, such as honey, pollen and propolis. Stingless bees represent mental health for the ecosystems where they live and balance to the extent that they actively participate in the pollination processes of most flora. The role of women in this activity has attracted a lot of attention especially in the South of the State of Yucatan, that is why this work places special emphasis on the analysis of the role, responsibilities, activities and different roles that women play within this activity.

Key words: Meliponiculture, Women, Regional Development.

Introducción

En el Sur del Estado de Yucatán ha llamado mucho la atención la participación de las mujeres dentro de la actividad productiva de la Meliponicultura, sobre todo en las comunidades de Maní, Oxkutzcab, Tekax, Dzan, Teabo y otros municipios que conforman la región sur.

El presente trabajo expone los diversos roles que desempeña la mujer dentro de la actividad de la Meliponicultura, con la finalidad de presentar las estrategias y fortalezas que con lleva implementar una actividad productiva y su contribución en el desarrollo regional de las diferentes comunidades que la conforman. Cada vez se suman más mujeres a esta actividad, ya que la meliponicultura es una actividad productiva que se puede realizar desde la casa, es conocida como actividad de traspatio o “solar”, que se ha heredado desde la cultura Maya [1]. La Meliponicultura se desarrolló principalmente en la Península de Yucatán por las culturas Mesoamericanas, llegó a su máximo grado de desarrollo con la cultura Maya. La especie Melipona beecheii Bennett es de particular importancia por la cantidad de miel que produce y porque aún se cultiva [2]. Esta actividad tiene mucha importancia por lo que se obtienen un alimento altamente nutritivo y de carácter medicinal. Existen 16 especies de abejas productoras de miel, aquellas que no tienen aguijón, habitan en las selvas de la Península de Yucatán. Estas abejas nativas (del grupo de Trigona Melipona) realizan sus nidos dentro de las partes ahuecadas de los árboles de selvas medianas y bajas (15 a 20 m de altura). La presencia de la abeja “xunancab” o “colelcab” (melipona beecheii) es un indicador de selvas tropicales maduras y que se encuentran en buen estado [3].

Actualmente existen dos tipos de cultivos de abejas en la Península de Yucatán; la más practicada y con importancia económica es la apicultura (*A. Mellifera*) y la meliponicultura (principalmente con *M. Beecheii*) es practicada escasamente, tiene poca importancia económica [2]. Sin embargo, en el sur del estado de Yucatán se ha notado el aumento de la participación de la mujer en dicha actividad.

Por otro lado, la actividad de la meliponicultura se puede ver como un desarrollo regional sustentable por los múltiples beneficios que otorga sus productos para la alimentación y la salud humana, así como su contribución al equilibrio ambiental, resaltando el papel que cumplen las abejitas como polinizadoras, con sus inalcanzables visitas de flor en flor o de planta en planta, promueven la reproducción sexual de las plantas primordialmente para la salud de nuestra flora y fauna.

Las mujeres juegan un papel importante dentro de esta actividad, es por ello que, en el presente trabajo, se realiza un análisis desde la perspectiva del desarrollo, competitividad empresarial que han adoptado dichas mujeres, desde el momento en que iniciaron con la actividad de la meliponicultura. Esta competitividad y desarrollo se ve reflejado en el potencial que las mujeres demuestran en el momento que exponen y presentan sus productos, ya que se tuvo la oportunidad de visitarlas en sus centros de trabajo (hogares). Aunado a todo esto, también se aprecia el talento humano que poseen al momento de explicarles a los visitantes, las propiedades medicinales de la miel y poder convencerlos para su posterior compra, es decir, las estrategias de comercialización que han adoptado también es de destacarlo como sus ventas digitales, ya que realizan envíos a otros estados de la República. De ahí la importancia de presentar un tema que ha llamado mucho la atención por la participación de las mujeres en esta actividad productiva.

La Meliponicultura como Desarrollo Regional Sustentable.

Actualmente la agricultura y las actividades pecuarias son las principales actividades humanas que degradan el ambiente y afectan la estructura y el funcionamiento de los procesos e interacciones existentes de los ecosistemas implicados. En los últimos años el modelo agrícola actual, ha contribuido enormemente en la contaminación de aguas profundas, aumento a la deforestación, lo cual pone en riesgo la vida del planeta [4].

Por otro lado, los insectos son un grupo importante en la dinámica de los ecosistemas tropicales, cumplen varias funciones y proporcionan información sobre la calidad de un hábitat, muchos de ellos tienen una relación con las plantas. La mayoría de las plantas con flores en la naturaleza necesitan ser polinizadas por insectos para producir frutos y semillas [5].

En el caso particular de la apicultura, es una actividad sostenible porque su impacto ambiental es favorable, ya que preserva las especies vegetales mediante la polinización, también tiene una gran importancia tanto socioeconómica como ecológica, generan miel que es un factor de beneficio en cuestiones de salud y belleza para los seres humanos [5].

En el presente documento se expone particularmente en la actividad de la meliponicultura que es el segundo tipo de cultivo de las abejas en la península de Yucatán. Como ya se había mencionado la meliponicultura hace referencia a la crianza y manejo de las abejas sin aguijón. Son parte del equilibrio ecológico, de la producción y la productividad de la tierra.

Es por ello que la Meliponicultura es una alternativa sustentable que puede ser introducido o adoptado por cualquier persona en zonas rurales, solamente requiere poca inversión, genera empleo a las amas de casa, ya que ellas mismas elaboran los subproductos derivados de la miel.

Mujeres Emprendedoras en Latinoamérica y en México.

Los informes de la CEPAL muestran que la afluencia cada vez mayor de mujeres en el mercado de trabajo en América Latina y el Caribe está concentrada en trabajos precarios, mal remunerados y de baja productividad [6]. En la mayoría de los casos, son empresas de pequeña escala, ubicadas en el ámbito urbano o rural, con bajo número de trabajadores, de naturaleza privada, de propiedad individual o asociativa, con escaso capital. La concentración de mujeres en este sector se atribuye a que acceden a la posibilidad de desarrollar un emprendimiento con facilidad debido a que existen pocas barreras en cuanto a requerimientos (niveles de escolaridad, requisitos legales, capital, otros). La organización por ser más flexible (muchas veces las actividades se realizan dentro del hogar y requieren de poca inversión), les permite compatibilizar el trabajo remunerado con las responsabilidades y tareas familiares que continúan estando a su cargo [6].

En México un amplio porcentaje de mujeres desarrollan actividades relacionadas con el micro-emprendimiento y éstos constituyen una fuente importante de ingresos para sus hogares. Según las recientes investigaciones en emprendimientos femeninos, se habla de que al menos un 45% de emprendedoras está en la economía informal, incluyendo muchas mujeres microempresarias. La gran mayoría son amas de casa emprendedoras, quienes no cuentan con algún programa de apoyo empresarial a las mujeres. Casi el 70% de las mujeres microempresarias son mujeres jóvenes emprendedoras con empresas que no exceden la primera década de vida. Usualmente, la mujer emprendedora en Latinoamérica tiene un promedio de edad por debajo de los 40 años. Al menos cinco de diez mujeres emprendedoras en América Latina poseen estudios universitarios y ven al emprendimiento como una manera de autorrealización personal y profesional [7]. Según la Dra. Flores existen cinco características de las mujeres emprendedoras, para que sus proyectos salgan adelante:

- Confíen en sus aptitudes, a pesar de sus inseguridades deben actuar en favor de sus metas,
- Practicar el autoconocimiento, formación constante, aprender a conocerse, hasta el punto de saber manejar sus emociones, y convertirse en líderes empáticas,
- Desarrollar una mentalidad flexible, adaptarse y fluir con sus circunstancias,
- Separar su ego de la organización, ser más realistas en cuanto a los panoramas financieros,
- Practicar la filosofía de la colaboración, ser emprendedoras sociales, ayudar a quienes nos rodean [8].

Desde esta perspectiva de la literatura se analizó el papel de las mujeres en la Meliponicultura en la región sur del Estado de Yucatán, ya que, en los últimos años, ha ocurrido un incremento en la cantidad de mujeres que emprenden la actividad de la meliponicultura en el Sur del Estado de Yucatán, según datos del Informe Anual de Educampo [9], donde más adelante se expondrá a detalle.

Metodología

En el presente trabajo se utilizó un enfoque de investigación mixto (cualitativo y cuantitativo), con un diseño de investigación transeccional descriptivo, ya que no hay manipulación de la realidad, sino más bien se indaga la incidencia de las mujeres en la actividad productiva de la Meliponicultura y se proporciona una descripción acerca de cada uno de los papeles que adopta la mujer en el momento que emprende una actividad como lo es la meliponicultura. Así mismo, se obtuvieron datos cuantitativos muy importantes con la ayuda de los instrumentos de investigación. Para obtener los resultados se siguieron los siguientes procesos:

- Reseña de las mujeres dedicadas a la crianza de las abejas para identificar el desarrollo de la actividad, mediante la información proporcionada por el programa En Pro de la Mujer.
- Definición del objeto de estudio, tomando una muestra representativa de las mujeres para entrevistarlas y aplicarles un cuestionario de 35 preguntas para recabar toda la información necesaria acerca de los diferentes roles que ejecutan en dicha actividad.
- Análisis y discusión de los resultados, exponiendo cada hallazgo encontrado tanto en la investigación de campo como en los cuestionarios.

Como instrumentos de investigación se utilizaron el cuestionario, la observación no estructurada, entrevistas abiertas, registros de historias de vida, evaluación de experiencias personales y la interacción con las mujeres se recolectaron todos los datos y la información necesaria.

Resultados y discusión

Reseña de las mujeres en la Meliponicultura.

Después de realizar una búsqueda de información acerca de las mujeres en la actividad de la meliponicultura se encontró que existe un programa llamado "En pro de la mujer", promovido por Educampo en el Estado de Yucatán, que reporta en sus informes anuales información valiosa para el análisis de la dinámica de la mujer dentro de esta actividad. Según reporta el programa inician con la actividad productiva de la Meliponicultura en el año 2012, con la finalidad de promover la generación de ingresos, a través del trabajo, distribución y venta de los artículos o alimentos producidos por las beneficiarias. En él, las mujeres tienen una participación activa, son protagonistas en las tomas de decisiones familiares y de su comunidad, reconociendo su potencial y convirtiéndose en un pilar de la economía familiar. Para el año 2016, ya se tenía registrado a 512 mujeres atendidas en Yucatán. Con las cuales trabajan en su formación humana, en su organización como grupos, producción e innovación de productos, comercialización, administración de sus empresas; así como en la generación de redes para convertirse en

agentes de cambio a nivel local y un modelo para inspirar a otras mujeres a tomar acciones organizadas que contribuyen a la mejora personal y familiar [10].

En el 2018 forman parte de una red de productoras de Miel melipona y transformación de productos, constituyéndose como una sociedad cooperativa con el nombre “Kuxtalil SC de RL de CV” en el municipio de Maní. Todo esto con la finalidad de fortalecer sus capacidades y juntas enfrentar los retos de su emprendimiento como cuidadoras de las abejas nativas. Las mujeres que conforman la red elaboran productos hechos a base de miel melipona, 100% artesanales, en las líneas de salud, higiene y cuidado personal. Actualmente sus productos se comercializan bajo la marca Yaal*Kaab Mayas Emprendedoras como se aprecia en la figura 1.



Figura 1. Productos elaborados con miel de meliponas. Fuente: Tomado de ©PNUD México, PPD (Programa Pequeñas Donaciones del FMAM) México, Claudia Novelo Alpuche.

Los productos de la marca Yaal*Kab son el resultado del trabajo de más de 90 mujeres empoderadas que, en su búsqueda por la independencia económica, han logrado establecer una relación simbiótica con el medio ambiente.

Actualmente la cooperativa impulsa la comercialización de 12 unidades productivas de miel melipona integradas por 90 productoras en seis municipios en el Sur del Estado de Yucatán (ver figura 2).

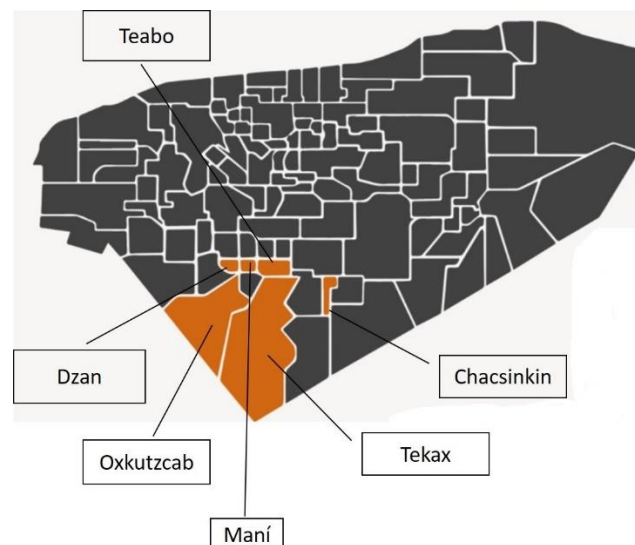


Figura 2. Localización de los seis Municipios que conforman la Red de productoras de Miel Melipona y transformación de productos. Fuente: Elaboración Propia basándose en el Informe Anual de Educampo 2021.

En cuanto a las 12 unidades productivas que están integradas en la red, tiene cada una diferentes denominaciones, cabe señalar que sus meliponarios (estructuras o casas donde se encuentran establecidas las

colonias o colmenas de las abejas) se llaman de la misma manera (ver figura 3). Cabe aclarar que existe otro número considerable de mujeres dedicadas a esta actividad pero que no se encuentran dentro de la red, ya que operan de forma independiente, este dato fue proporcionado por las propias mujeres que ellas mismas ubican en la comunidad. De igual manera se presenta el porcentaje de mujeres que se dedican a esta actividad, considerándolas dentro del personal económicamente activa en el sector primario, donde se les clasifica a las meliponicultoras (ver figura 3).

Comunidades de la Región Sur del Estado de Yucatán	Tekax	Teabo	Dzan	Oxkutzcab	Maní	Chacsikin
Unidades productivas	(2) • Jara Orión • Flor de Jazmín	(2) • Lool Jabín • Las meliponas	(2) • Flor de cera • Uluumil Xunaan Kaab	(2) • Sáasil Kaab • Lool Beek	(3) • Much Kambal • Kuxtalil 1 • Kuxtalil 2	(1) • Chacsik
Mujeres que las conforman	16	14	14	16	23	7
Mujeres que se dedican a la actividad sin pertenecer a la red.	20	15	10	10	32	8
Total por comunidad	36	29	24	26	55	15
Porcentaje que representan en sus comunidades.	0.50%	1.9%	2.5%	0.46%	5.1%	3.1%

Figura 3. Unidades productivas de los seis municipios de la Sociedad Cooperativa, y el total de mujeres dedicadas a la Meliponicultura. Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje presentado en la figura 3, fue tomado en base a los datos proporcionado por el anuario estadístico y geográfico de Yucatán 2017 [11], del personal de mujeres ocupadas económicamente en el sector primario, que es donde se clasifica la Meliponicultura. En total se tiene a 215 mujeres trabajando en esta actividad productiva en la región sur del estado, el 42% se encuentran en la Sociedad Cooperativa y el 58% se encuentran trabajando en forma independiente. Todavía existe un porcentaje significativo de mujeres que no creen en las redes corporativas. Es necesario realizar un estudio más profundo de por qué no creen en los programas en su caso porque se salieron del programa, ya que algunas lo abandonaron.

El concepto de redes posee múltiples dimensiones y diferencias significativas en la conformación de las mismas en relación al género. Las redes brindan a las mujeres emprendedoras recursos valiosos: información, acceso a diferentes mercados, fuentes de financiamiento, posibilidad de incorporar nuevas tecnologías en sus emprendimientos [12].

Entre los beneficios que reporta el programa En Pro de la Mujer se encuentran lo siguiente [13]:

- Actualización del reglamento interno que ayudaron a mejorar la resolución de problemáticas internas y fortalecieron sus procesos de rendición de cuentas.
- El 100% de las unidades de producción cuentan con mejores prácticas en la seguridad en las áreas de trabajo.
- 43% de las mujeres incrementaron su nivel de empoderamiento.
- El 100% han mejorado sus registros y ahora cuentan con bitácoras diarias, además de haber actualizado sus reglamentos internos, mejorar la resolución de problemáticas internas y fortalecer sus procesos de rendición de cuentas.
- El 100% de los programas cuentan con asistencia técnica.

En el caso del sur del Estado de Yucatán es notoria la participación de las mujeres en las redes sobre todo aquellas que ya están constituidas como una sociedad cooperativa, pero es importante aclarar que existe un gran

número de productoras (se desconoce la cifra exacta) que todavía no se encuentran incorporadas por falta de credibilidad en los beneficios que les otorga pertenecer a una red o por falta de información.

El papel de la mujer en la Meliponicultura

Las mujeres entrevistadas aportaron información de suma importancia, donde describen las diversas actividades que realizan en la actividad productiva de la Meliponicultura.

Es importante mencionar la situación socioeconómica de las mujeres dedicadas a esta actividad. Las edades de las mujeres oscilan entre los 40 a 70 años, el 70% están casadas, el 20% son solteras y 10% son viudas. En cuanto a su educación el 45% solo tiene secundaria, el 37% tiene estudios de primaria y 18% no concluyó la primaria. El 63% tiene entre 5 a 10 años practicando esta actividad, el 25% entre 2 a 4 años y el 12% un año.

Las mujeres han adoptado diferentes roles o papeles en la Meliponicultura, se definen ellas mismas como productoras, administradoras, promotoras o comercializadoras de los productos de la miel.

- ❖ Como productoras podemos mencionar que vigilan, alimentan y se dedican al cuidado de los meliponarios; revisan una vez por semana las colonias para verificar el estado en que se encuentran y también asegurarse de que tengan alimento y agua. En tiempos establecidos cosechan miel, polen o propóleo y la realizan manualmente (ver figura 4). En el mes de Febrero a Abril realizan la transferencia de las colmenas, también conocida como división de la colonia. También se dedican a elaborar subproductos de la miel como se observó en la figura 1, como:
 - Productos para salud: botella tequilero miel pura, gotero de vidrio miel pura, tintura de propóleo, spray de jarabe de miel y propóleo.
 - Productos para la higiene y cuidado de la piel: jabones (miel melipona, miel-propóleo, miel-rosas, miel-toronja, miel-avena, miel-café y canela, miel-carbón activado, miel-sábila y romero, miel-arcilla, miel-coco y jabón íntimo), bálsamos labiales, pomadas cicatrizantes, cremas faciales, cremas faciales de cera, mascarillas faciales de carbón activado y de arcilla, cremas corporales, shampoo líquido y shampoo sólido ecológico.



Figura 4. Extracción de la miel. Fuente: Tomado de <https://yaalkaab.com/>

- ❖ Como administradoras, han fomentado reglas en la operación de sus grupos de trabajo, como horarios de trabajo, asignación de las compras de insumos, trato con diversos proveedores, elaboración de bitácoras de trabajo, contabilidad y registro de ventas. Aunque todavía existe el acompañamiento por parte de asesores que las capacitan en diferentes áreas.
- ❖ Como comercializadoras de sus productos. Actualmente sus productos son promovidos en las redes sociales, realizan ventas digitales, ya que realizan envíos hasta Guadalajara, Guanajuato, Estado de México, Veracruz, etc. El programa En Pro de la Mujer las invita a exponer sus productos en diferentes

eventos, ferias, congresos, exposiciones artesanales dentro y fuera del estado, como se aprecia en la siguiente figura 5.



Figura 5. Exposición de los productos derivados de la miel melipona. Fuente: Tomado de <https://yaalkaab.com/>

Los grupos le dedican entre 2 a 4 horas al día a cada una de estas actividades, aunado a estas actividades también desempeñan otros roles importantes como el ser amas de casa, tienen responsabilidades con sus hijos y su familia.

Impacto económico generado por las mujeres a través de la Meliponicultura.

Una de las experiencias compartidas por las mujeres durante las entrevistas, mencionan que, como mujeres, muchas veces se han visto excluidas de oportunidades de desarrollo, antes eran solo bordadoras (confección de prendas de vestir), y con ello se generaba pocos ingresos, en la actualidad ya no dependen económicamente de sus esposos, ya generan más recursos económicos con la venta de sus productos derivados de la miel. Entre los beneficios económicos que les otorga la miel se encuentran sus ingresos mensuales ver figura 6.

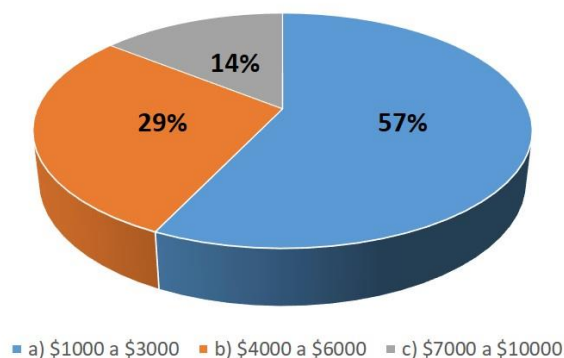


Figura 6. Ingresos Mensuales generado por la actividad de la Meliponicultura. Fuente: Elaboración Propia.

Considerando que solo le dedican poco tiempo a la actividad, estos ingresos son significativos en su economía familiar, además no es el único ingreso que perciben las mujeres, ya que la mayoría también se dedica a otras actividades comerciales y productivas como la confección de prendas de vestir y de la crianza de gallinas libres de jaula. Es importante aclarar que aquellas que generan más ingresos se debe a que poseen más de 100

colmenas en sus meliponarios y se dedican a elaborar los subproductos de la miel, mientras que existen grupos que todavía se están capacitando para el desarrollo de dichos productos por lo que todavía no los comercializan.

En cuanto a la inversión que aportan las mujeres a la actividad productiva, solo el 12% considera que es elevado, 63% la considera en un término intermedio y el 25% indicó que es bajo lo que invierten sobre la actividad como se aprecia en la figura 7, sobre todo por el tiempo que le dedican a la actividad, además argumentan que la Meliponicultura, les permite realizar otras actividades que igualmente les aporta ingresos. Esta perspectiva coincide con lo encontrado en la literatura donde se afirma que la inversión para dedicarse a la Meliponicultura es muy poca.

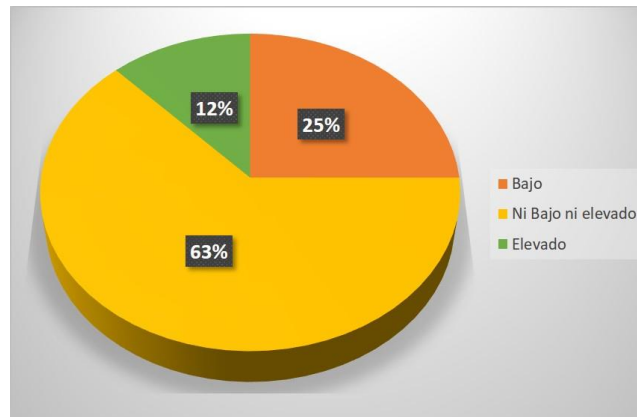


Figura 7. Perspectivas de las mujeres acerca de la inversión sobre la Meliponicultura. Fuente: Elaboración Propia.

La dedicación que las mujeres le han aportado a esta actividad ha hecho que resalte la Meliponicultura en las comunidades del Sur del Estado, siendo la más destacada en la comunidad de Maní, que en Diciembre de 2020 fue nombrada Pueblo Mágico, gracias a la exposición y trabajo que realizan las meliponicultoras en dicha comunidad. Siendo los meliponarios uno de los atractivos de la comunidad, al visitar Maní no puede omitir su visita a los meliponarios y observar a las abejas en su habitat. En el Pueblo existen ubicados más de 30 meliponarios con aproximadamente más de 61 productores de miel, entre ellos se encuentran 54 mujeres dedicadas a esta actividad. Cabe señalar que solo tres meliponarios (conformada por 23 mujeres) se encuentran en la red de la Sociedad Cooperativa “Kuxtalil” como ya se había mencionado anteriormente.

El proceso de la Meliponicultura no es considerada fácil por los hombres, por las diferentes tareas que se realizan dentro de la misma, generalmente los varones optan por trabajar a las abejas Apis. Las mujeres cuentan con las habilidades y aptitudes físicas para considerarlas como idóneas para la actividad de la Meliponicultura, como por ejemplo sus manos son más sensibles al tacto y con ello pueden manipular con paciencia y dedicación el manejo de las abejas. Entre los procesos que se deben realizar con mucho cuidado son la división de colmenas y la extracción de la miel, evitando que no mueren las abejitas durante el proceso. Así mismo, la elaboración de sus productos como el envasado, jarabes de propóleos, los jabones y otros productos son tareas propias de las mujeres, generalmente los hombres no realizan dichas tareas, inclusive el único varón (encontrado durante la investigación de campo) que trabaja la Meliponicultura no se dedica a la elaboración de estos subproductos solamente envasa la miel y la comercializa.

Es de admirar que las mujeres hayan podido conciliar las responsabilidades familiares con el trabajo de las abejas; el adoptar un trabajo independiente desde su hogar, el manejo adecuado de los tiempos; adopción de las nuevas tecnologías, como la venta digital, uso de las redes sociales, uso del celular y computadora; sus participaciones activas en los cursos y talleres que les otorgan por el programa En Pro de la Mujer; y diversas oportunidades que se les ha presentado y que han sabido aprovechar.

Trabajo a futuro

Durante la realización de la presente investigación se encontró información valiosa, sin embargo, surgieron diversas interrogantes que nos lleva a plantearnos futuras investigaciones y que enriquecerían a nuestro de

proyecto original que es la de analizar la Meliponicultura como desarrollo regional sustentable en el Estado de Yucatán.

Entre los planteamientos que se identificaron se encuentran los siguientes cuestionamientos:

- Según Educampo existe una población de más de 500 mujeres que han asesorado en alguna actividad productiva en todo el Estado de Yucatán, sin embargo, no existe el dato preciso si se trata de la actividad de la meliponicultura, pero 90 mujeres forman parte de la sociedad cooperativa, entonces surge la interrogante de qué actividad productiva desarrollan el resto de las mujeres y poder analizar dichas actividades desde la perspectiva del desarrollo regional.
- Sin duda existen beneficios económicos, sociales y tecnológicos el pertenecer a una red de mujeres, por lo que se hace necesario realizar un análisis comparativo entre las mujeres que pertenecen a una red o asociación cooperativa y las que no, para identificar las potencialidades que generan el pertenecer a una red.
- Adoptar y apoyar proyectos que habiliten a las organizaciones de mujeres, sobre todo aquellas que trabajan de manera autónoma.
- La cuantificación de los beneficios económicos y tecnológicos, es un dato necesario, para medir los impactos económicos de la actividad de la meliponicultura sobre todo a nivel local, es decir, realizar estudios a cada uno de los grupos, ya que cada grupo de trabajo tiene características endógenas diferentes.

Conclusiones

En el recorrido del presente artículo se pudo notar que las mujeres juegan un papel importante en la actividad de la meliponicultura, por las características que presenta dicha actividad, como por ejemplo en el manejo y cuidado de las abejas, la paciencia y dedicación que se le aporta a ellas solo lo podría ofrecer una mujer. Claramente se pudo notar cuando se extrae la miel, las manos de una mujer no se compara con la de los hombres, además las mujeres por sus características físicas y emocionales la hacen amar a las abejitas y esto ayuda mucho a las abejitas según testimonios de las propias mujeres.

En el artículo se pudo identificar y reconocer cada uno de los roles que la mujer desempeña dentro de la actividad productiva, su capacidad creativa e innovadora las han puesto como líderes en la meliponicultura. Esto no significa que no exista hombres dentro de esta actividad, si los hay, pero son cifras poco significativas, ya que los varones prefieren trabajar con las abejas con aguijón (*Apis mellífera*).

Es de reconocer el papel de la mujer en el desarrollo productivo en la región Sur del Estado de Yucatán, a través de la actividad productiva de la meliponicultura, enfrentando diversos retos y desafíos convirtiéndolos en oportunidades de negocio. Las mujeres presentan características endógenas como por ejemplo poseen niveles bajos en cuanto a educación, iniciaron su emprendimiento a la edad de los 40 años en adelante, para ellas la meliponicultura es su principal fuente de ingresos y ayudan con la economía de su hogar.

Las meliponicultoras consideran que esta actividad productiva ha contribuido a mejorar su calidad de vida, ya que reciben apoyos económicos como Bienestar para la Producción que año con año se les otorga, además de la venta de sus colmenas que oscilan entre los \$3500 a \$7000 si se trata de colmena madre, el litro de la miel pura la comercializan en \$1400 por litro, cuenta con un catálogo de más de 30 productos derivados de la miel en sus diversas presentaciones, lo que les genera igual ingresos.

Aunque en ocasiones se ven amenazadas por una serie de factores socioeconómicos, culturales y ecológicos interconectados, como fenómenos naturales como los huracanes, la sequía, la humedad, invasión de la abeja africanizada, el desarrollo urbano y turístico, y el incremento de la deforestación. Tales situaciones, no les ha impedido abandonar la actividad, e incluso se encuentran motivadas porque sus clientes se encuentran satisfechos con los productos que consumen por los beneficios que aporta la miel melipona al ser humano.

En definitiva, el pertenecer a una red les ha traído muchísimos beneficios a las mujeres y es por ello que siguen fortaleciendo su sociedad adquiriendo mayores conocimientos en sus prácticas productivas, administrativas y comerciales. Un ejemplo claro es que se actualizaron recientemente en el 2022 en la estandarización de procesos

de líneas productivas de productos derivados de miel melipona procesos y formulas impartida a través del PPD (Programa Pequeñas Donaciones del FMAM) y Fondo Semillas Mujeres sembrando igualdad.

Para que la mujer adquiera empoderamiento, es necesario que tenga acceso a los recursos materiales, humanos y sociales para hacer elecciones estratégicas en su vida. El poder generar ingresos propios con la posibilidad de trabajo independiente y el potencial de sus emprendimientos, son oportunidades que les permite mayores posibilidades de tener una mejor calidad de vida y sus familias. Y que mejor implementando una actividad como lo es la meliponicultura, donde se trata de conservar una especie en peligro de extinción en la Península de Yucatán. La conservación de la abeja nativa es primordial para la salud de muchos ecosistemas, ya que dependen de ella para regenerarse.

Referencias

- [1] Guzmán, M., Balboa, C., Vandame, R. Albores, M.L. y González, A.J. (2011). Manejo de las abejas nativas sin aguijón en México: Melipona beecheii y scaptotrigona mexicana. El colegio de la frontera sur. Mayo 2011.
- [2] Marqués L.J. (1994). Meliponicultura en México. Facultad de Ciencias, UNAM.
- [3] Villanueva-Gutierrez, Buchmann, S., Docovan, A.J. y Roubik, D. (2005). Crianza y manejo de la abeja Xunancab en la Peninsula de Yucatán. Editor ECOSUR.
- [4] Rosales J.M. y Bucardo L. (2012). Meliponicultura Básica Nasma warkka dauki Laya Sakiba. Manual de Meliponicultura Básica. Servicios Graficos, S.A. Managra, Nicaragua, Enero 2012.
- [5] Aldasoro, M.M., Luna, D.Y.G. y Enríquez, C.M.E. (2021). Abejas sin aguijón y legado biocultural en Mesoamérica. *Ecofronteras*, 2021, vol. 25, num. 73, pp 6-9.
- [6] CEPAL (2010). Mujeres emprendedoras en América Latina y el caribe: realidades, obstáculos y desafíos. Santiago de Chile. Serie Mujer y Desarrollo.
- [7] Valenzuela M. (2005). ¿Nuevos senderos para las mujeres? Micro empresas y género en América Latina en el umbral del siglo XXI. Santiago de Chile: CEM.
- [8] Flores-Carretero, E. (s.f). Las 5 características de las mujeres emprendedoras. Recuperado el 6 de Junio de 2022, <https://www.ieie.eu>
- [9] Educampo (2018). Informe anual Educampo 2018
- [10] Educampo (2021). Informe anual Educampo 2021
- [11] Anuario Estadístico y Geográfico de Yucatán 2017.
- [12] Cristini, M. y Bermudez, G. (2007). "El Mapa Económico de las Mujeres Argentinas. 1998-2006". Documento de Trabajo N° 93. FIEL. Buenos Aires.
- [13] Educampo (2022). Informe anual Educampo 2022

Herramientas de manufactura esbelta aplicadas en una micro empresa comercializadora ubicada en Orizaba, Veracruz.

Giovanna Gabriela Benítez Juárez^{*}, Marcos Salazar Medina², Gabriela Cabrera Zepeda³, Nuria Ortega Peterson⁴, Alma Gabriela Alcalde Pérez⁵.

¹Instituto Tecnológico de Orizaba1 y ing.giovanna.bj@gmail.com 1,²Instituto Tecnológico de Orizaba2 y marcos.sm@orizaba.tecnm.mx 2, ³Instituto Tecnológico de Orizaba3 y gabriela.cz@orizaba.tecnm.mx3, ⁴Instituto Tecnológico de Orizaba4 y nuria.op@orizaba.tecnm.mx4, ⁵Instituto Tecnológico de Orizaba5 y gaby.alcalde.perez@gmail.com5

Área de participación: Ingeniería Administrativa.

Resumen

Este artículo tiene la finalidad estandarizar procesos propios de la comercialización de productos industriales, además de brindar una gestión y control más adecuados para una micro empresa dedicada a este giro, mediante la demostración y validación de la factibilidad de la aplicación de herramientas de manufactura esbelta tales como: Kaizen, Kanban, Jidoka, SMED y Poka Yoke en empresas de giro comercial. Por tal motivo se implementan en una micro empresa comercializadora de productos industriales, buscando dar solución a problemáticas identificadas al analizar cada etapa que conforma los procesos de comercialización de la empresa, y en segundo lugar demostrar que dichas herramientas que forman parte de la manufactura esbelta son aplicables en actividades que no sean propias de procesos productivos o bien, de empresas manufactureras.

Palabras clave: *Manufactura esbelta, estandarización, control, herramientas, procesos, comercialización.*

Abstract

This article has the purpose of standardizing processes of the commercialization of industrial products, in addition to providing a more adequate management and control for a micro company dedicated to this line of business, through the demonstration and validation of the feasibility of the application of lean manufacturing tools such as such as: Kaizen, Kanban, Jidoka, SMED and Poka Yoke in commercial companies. For this reason, they are implemented in a micro company that markets industrial products, seeking to solve problems identified by analyzing each stage that makes up the company's marketing processes, and secondly, to demonstrate that said tools that are part of lean manufacturing are applicable in activities that are not typical of production processes or manufacturing companies.

Key words: *Lean manufacturing, standardization, control, tools, processes, marketing.*

Introducción

La pandemia mundial del año 2020, generó estragos que aun años después se siguen subsanando, así que, específicamente en el ramo empresarial denotamos que el sector que menos resistencia tuvo ante este acontecimiento fueron las micro empresas, siendo estas las primeras en morir [7], incluso antes del tiempo promedio de vida, que por sí solo es bastante corto, comparado con los grandes emporios empresariales [4]. Motivo por el cual se ha decidido crear conocimiento a través de la implementación de diversas metodologías, buscando fortalecer a estos empresarios en áreas que generalmente no están solidas dentro de estas organizaciones. En este caso en particular, fue necesario para la correcta implementación de las herramientas de manufactura esbelta que se han desarrollaron y designaron para cada una de las fases de los procesos que ejecuta la empresa para la comercialización de sus 3 tipos de productos. En primer lugar, se definieron los componentes de cada línea de proceso.

En segundo lugar, se realizó un mapeo del proceso, que permitió identificar en que partes del proceso era necesario. Y, por último, en tercer lugar, se realizó la implementación de cada una de las herramientas designadas para darle solución a la problemática identificada. Con esto se demostró la eficacia y flexibilidad del lean manufacturing a cualquier tipo de proceso.

Metodología

A continuación, se muestra la serie de pasos que se llevaron a cabo para darle cumplimiento a la implementación de las herramientas de manufactura esbelta en una empresa comercializadora. Sin embargo, será viable la aplicación en otros procesos mientras se realicen las adecuaciones pertinentes, en el caso de la etapa 1, según sea el caso podrá o no elaborarse el Value Stream Mapping de acuerdo a las necesidades de la organización en cuestión, sin embargo, debido a que las micro empresas comparten muchas similitudes en su estructura organizacional se pueden replicar los pasos sin alterar las etapas ya que no afecta el correcto funcionamiento del método.

En el caso de empresas de mayor volumen, se sugiere que se empleen métodos mas robustos, que se apoyen en herramientas mas complejas ya que cuentan con mas recursos que deben ser trabajados.

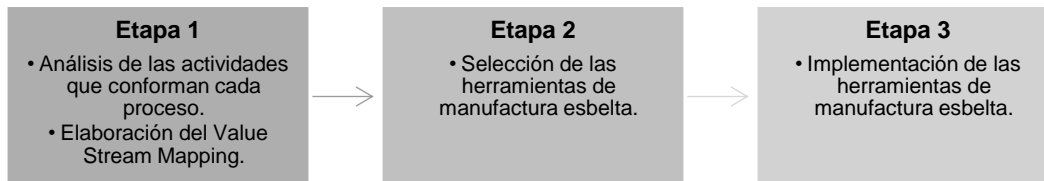


Diagrama de la metodología empleada, fuente: elaboración propia

Manufactura esbelta

Este término es muy utilizado en la industria debido a que busca alcanzar una excelencia en la producción. De forma general consiste en un conjunto de herramientas que permiten eliminar todos los desperdicios existentes en una organización. [1]

Nacido en Japón y creada por los gurús del sistema de producción Toyota: William Edward Deming, Taiichi Ohno, Shingeo Shingo, Eijy Toyoda entre otros [5]. Es una metodología que busca la mejora continua de todo proceso a través de técnicas que de forma conjunta alcanzan beneficios mayores en la calidad de los procesos.[2]

Value Stream Mapping

Es una herramienta de uso cotidiano dentro de la manufactura esbelta.

Consiste en un diagrama que permite visualizar, analizar y mejorar el flujo en las actividades que componen el proceso que se está estudiando. Y aunque los diagramas de flujo de aplicaciones en líneas de producción han surgido desde el siglo XX, Toyota fue quien sugirió la versión inicial de esta metodología conocida como "*Material and Information Flow Analysis*".

Hasta el día de hoy y como consecuencia de la influencia de occidente sobre los métodos creados por Toyota, esta herramienta es conocida como *VSM* o *Value Stream Mapping*, y gran parte es debido a la investigación y publicaciones de Mike Rother. [6]

Aplicación de las herramientas

Parte de la información que fue necesaria para determinar las herramientas que debían implementarse entre cada tarea de los procesos se dividió en dos:

- **Líneas de productos existentes:** Mercancías en general, trapo y bolsa.
- **Actividades:** Recepción, verificación, almacenamiento, venta y distribución. (si el producto por una naturaleza requiere una actividad diferente, se tomará en cuenta al momento de aplicar las herramientas).

Desarrollo

Se diseñaron las herramientas de manufactura esbelta, que, surgieron con la finalidad de eliminar desperdicios en procesos productivos, sin embargo, después se visualizó la posibilidad de que contribuyeran al mejoramiento en la calidad y control de los procesos. Entonces, una vez identificadas las áreas de oportunidad y mejora y posteriormente se decidieron cuales serán las herramientas que deben implementarse se deberán adecuar al proceso de comercialización correspondiente.

Value Stream Mapping

Fue necesario apoyarse del mapeo de las estaciones de trabajo que conforman cada proceso para así poder identificar las necesidades existentes entre cada actividad y diseñarla de manera que diera solución a dicha problemática. [3]

Proceso 1 “Mercancías”

En el proceso de comercialización de mercancías en general se visualizan a través del VSM las 6 estaciones que lo conforman y que trabajan de forma conjunta para la venta del producto, además, mediante viñetas amarillas se señalan las 5 herramientas de manufactura esbelta que mejoran el funcionamiento entre las tareas.

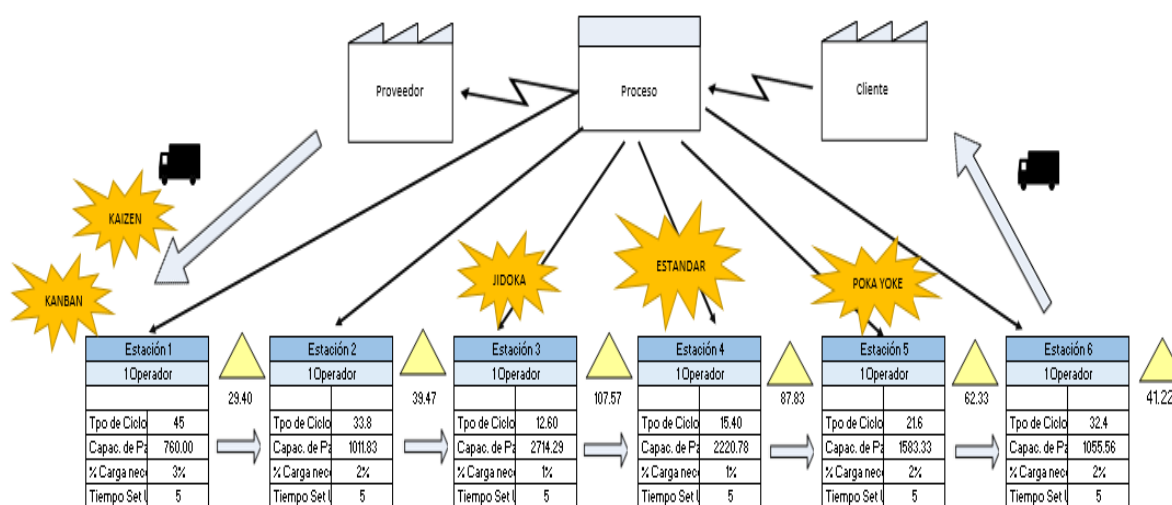


Figura 1. Value Stream Mapping del proceso 1

Diagrama del proceso “mercancías” fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Herramientas utilizadas en cada actividad del proceso 1

#	Actividad	Herramienta	Áreas de oportunidad	Impacto en el proceso
1	Recolección del producto	Kaizen / Kanban	Estandarización y control del proceso	Es el primer contacto con la mercancía
2	Recepción del producto	N/A	N/A	Es la entrada de la mercancía a la empresa
3	Verificación del estado del producto	Jidoka	Incremento de la calidad en la selección de productos	Es el filtro de calidad que se aplica para conservar los productos
4	Colocación del producto en almacén	Estandarización	Estructuración de los pasos para realizar el proceso	Es la entrada del producto al almacén
5	Venta del producto	Poka Yoke	Facilitar la manipulación de los productos de acuerdo a sus especificaciones	Es la salida del producto del almacén
6	Distribución del producto	N/A	N/A	Puede o no suceder, si es que el cliente solicita el servicio a domicilio.

En el caso del proceso correspondiente a las mercancías en general, denominado para efectos prácticos de este como “proceso 1”.

Se consideran dentro del proceso 1 todas aquellas actividades que posibiliten la comercialización de las mercancías en general desde su recepción hasta su distribución, que comprenden: Baleros, chumaceras, rodamientos, aceites, lubricantes, entre otros. Serán comprendidos en esta categoría todos aquellos productos que no sean: trapo o bolsa.

Implementación de las herramientas en el proceso #1

A. Kaizen

Se procede a llevar a cabo las siguientes actividades en el orden descrito a continuación, el colaborador deberá apoyarse de la bitácora de proceso 1, que le permita registrar las mercancías que han sido ordenadas por parte de los clientes, así como verificar que sean entregadas a través del checklist de proceso 1.

- 1.- Identificar: Cuales son las piezas que se deben recolectar en cada pedido, cantidad y marca del producto.
- 2.- Planificar: Que piezas son más urgentes de recolectar según los pedidos que se tengas pendiente, es decir, siguiendo las fechas de entrega se deberá organizar las entregas de forma que se cubran en tiempo y forma.
- 3.- Ejecutar: Llevar a cabo las recolecciones planeadas con anterioridad.
- 4.- Revisar: Verificar que han sido recolectados los pedidos que estaban establecidos en el periodo de tiempo indicado.

B. Kanban

Colocando un pizarrón donde se divida en 3 segmentos donde se indique los pedidos que están pendientes por recibir y en la siguiente columna indicar cuales ya han sido recibidos o recogidos.

En donde cada uno indicará lo siguiente:

- 1.- To do: En esta área se colocan todas las actividades / pedidos que ya hayan sido realizados. (En color negro).
- 2.- In progress: En esta sección se colocarán aquellas actividades que estén en proceso. (Irán en color azul).
- 3.- Done: En esta parte del tablero se colocarán todos aquellos pedidos que aún no hayan sido recolectados. (Irán en color rojo).

Nota: Para esta actividad se requiere 1 pizarrón y 3 plumones (negro, azul y rojo).

C. Estandarización

A través de la implementación del formato recepción de materiales proceso 1 que sirva para controlar las llegadas de mercancías a la empresa.

D. Jidoka

Estableciendo un control de calidad interno, propio de esta actividad que permita garantizar la calidad del producto que va a pasar al almacén, a través de una sub actividad bien definida.

El colaborador debe llevar a cabo una revisión de rutina a las mercancías donde deberá seguir 3 pasos:

- 1.- Descubrir la anomalía: Identificar durante la verificación del producto si existe alguna anomalía o defecto en la pieza.
- 3.- Solucionar el problema inmediato: Una vez identificada la anomalía se debe dar solución inmediata, que será separar la pieza defectuosa del resto.
- 4.- Buscar y resolver la causa raíz: Investigar si el problema lo ocasionó una causa que podría replicar la problemática de manera recurrente, de ser así, eliminarla.

E. Estandarización

Definiendo una serie de pasos específicos que pueda seguir cualquier persona o empleado nuevo para colocar la mercancía en el área del almacén correspondiente apoyándose del formato clasificación proceso 1 ubicados en zonas específicas dentro del almacén.

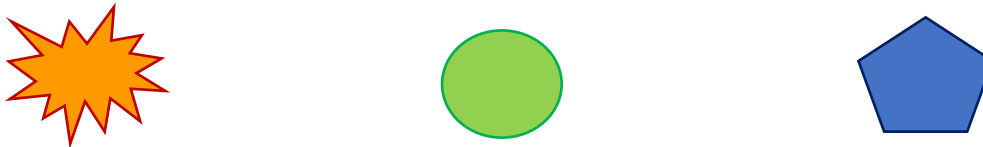
Se deberán realizar el siguiente listado de actividades por parte del colaborador encargado de colocar el producto en el almacén, apoyándose de la bitácora de proceso 2.

- 1.- Inspección del estado del producto: Verificar que el producto/mercancía se encuentre en buen estado.

- 2.-Colocación del producto en su área: Una vez que se garantice la integridad del producto se procederá a colocarlo en su área específica.
- 3.-Anotación en la bitácora: Una vez que se colocó el producto en su lugar en el almacén deberá hacerse la anotación correspondiente para tener el registro al día.

F. Poka Yoke

Mediante señales graficas (figuras en los estantes) que indiquen como debe ser manipulada la mercancía para la venta y posterior entrega al cliente.



Viñetas representativas de las señalizaciones, fuente: elaboración propia.

Antes de asignar las señalizaciones el colaborador deberá dividir en tres partes el área designada para la colocación de la mercancía, y posteriormente colocar los gráficos de acuerdo a la siguiente descripción:

- 1.- Frágil (Viñeta anaranjada): Se colocará en el estante donde estén aquellas mercancías que requieran especial cuidado a la hora de empaquetar para entregar al cliente.
 - 2.- Puede manipularse sin equipo de protección (Circulo verde): Se colocará en el estante de aquellas mercancías que puedan ser manipuladas para su venta sin ningún equipo de protección o bien, sin especificaciones sobre su manejo.
 - 3.- Debe manipularse con equipo de protección (Pentágono azul): Se colocará en donde se encuentren aquellas mercancías que por su composición química o bien, algún componente físico represente un peligro para quien lo manipule, por lo que se deberá utilizar equipo de protección.
- Se imprimirán dichas viñetas en adhesivo que permita colocarlos en los estantes donde se encuentren los productos, para así identificar como deben ser manipulados.

G. Estandarización

Para tener un mejor control y conocimiento de las existencias de las mercancías en el almacén, se sugiere la utilización del formato vales de salida proceso 1. Donde se hará un registro de todos aquellos productos que salgan de almacén para venta.

Proceso 2 “Bolsa”

En el proceso de comercialización de bolsa se visualizan a través del VSM las 8 estaciones que lo conforman y mediante viñetas amarillas se señalan las 7 herramientas de manufactura esbelta que mejoran el funcionamiento entre las tareas.

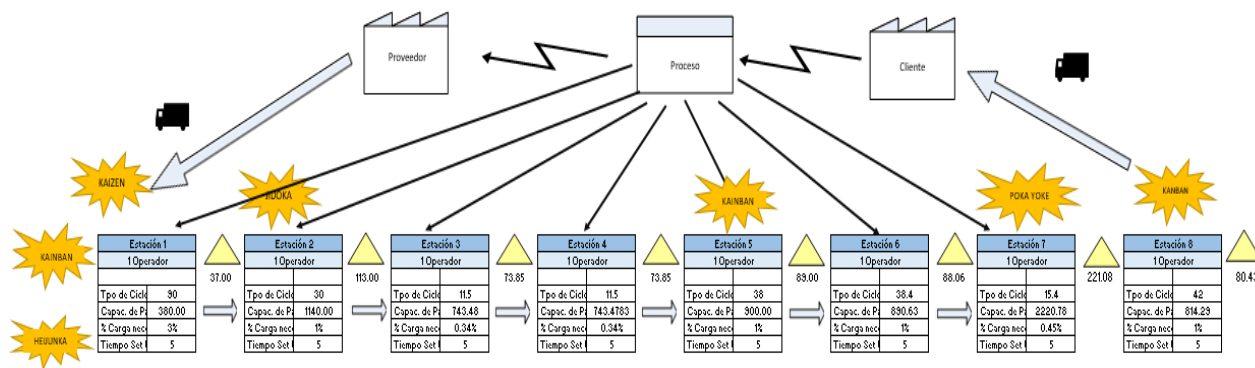


Figura 2. Value Stream Mapping del proceso 2

Diagrama del proceso “bolsas” fuente: elaboración propia

Tabla 2. Herramientas utilizadas en cada actividad del proceso 2

#	Actividad	Herramienta	Áreas de oportunidad	Impacto en el proceso
1	Recepción del producto	Kaizen, Kanban, Heijunka	Incremento del control y reducción de cambios en el proceso	Es la entrada de la bolsa a la empresa
2	Verificación del estado del producto	Jidoka	Implementación de un estándar de calidad	Es el filtro de calidad que se aplica para aceptar o no la bolsa
3	Colocación de la bolsa en el almacén			Es la entrada del producto al almacén
4	Proceso de pesado de la bolsa	N/A	N/A	Es la división del producto en grupos de acuerdo a especificaciones varias
5	Empaquetado de la bolsa	Kanban	Permitiendo tener una visualización total de los pedidos pendientes y entregados	Es la colocación del producto en paquetes una vez dividido
6	Colocación de la bolsa en el almacén	N/A	N/A	Es la entrada del producto al almacén
7	Venta de la bolsa	Poka Yoke	Creación de un semáforo de ventas en base a los objetivos	Es la salida del producto del almacén
8	Distribución de la bolsa	Kanban	Incremento de control sobre los pedidos satisfechos	Puede o no suceder, si es que el cliente solicita el servicio a domicilio

En el caso del proceso correspondiente a la bolsa, denominado para efectos prácticos como “proceso 2”. Se consideran dentro del proceso 2 todas aquellas actividades que posibiliten la comercialización de la bolsa desde su recepción hasta su distribución. Serán comprendidos en esta categoría todos aquellos productos que no sean: Mercancías en general o trapo.

Implementación de las herramientas en el proceso #2

En el caso del proceso correspondiente a la bolsa, denominado para efectos prácticos de este manual como “proceso 2”. Se consideran dentro del proceso 2 todas aquellas actividades que posibiliten la comercialización de la bolsa desde su recepción hasta su distribución. Serán comprendidos en esta categoría todos aquellos productos que no sean: Mercancías en general o trapo.

A. Kaizen

A través de la implementación de pequeñas mejoras, que promuevan el incremento de la calidad en el proceso, y a su vez, al finalizar el proceso se haya incrementado la satisfacción del cliente. Se deberán a llevar a cabo las siguientes actividades en el orden descrito, el colaborador deberá apoyarse de la bitácora proceso 2 que le permita registrar la bolsa que ha sido solicitada por parte de los clientes, así como verificar que sea entregada.

- 1.- Identificar: Cuales son las bolsas que se deben recibir, peso, medidas y material.
- 2.- Planificar: Que pedidos son más urgentes de recolectar y en base a esta información organizar las entregas del producto.
- 3.- Ejecutar: Recibir los pedidos de bolsa en tiempo y forma.
- 4.- Revisar: Verificar que se han cubierto todos los pedidos establecidos

B. Kanban

Colocando un pizarrón donde se divida en 3 segmentos donde se indique los pedidos que están pendientes por recibir y en la siguiente columna indicar cuales ya han sido recibidos o recogidos.

En donde cada uno indicará lo siguiente:

- 1.- To do: En esta área se colocan todas las actividades/ pedidos que ya hayan sido recolectados.
- 2.- In progress: En esta sección se colocarán aquellos pedidos que estén siendo recolectados durante esa jornada.

3.- Done: En esta parte del tablero se colocarán todos aquellos pedidos que aún no hayan sido recolectados.

Nota: para esta actividad se requiere 1 pizarrón y 3 plumones (negro, azul y rojo).

C. Heijunka

Programando las cantidades de bolsa que se van a recibir y producir durante la jornada. Los colaboradores deberán desarrollar 4 habilidades al momento de recibir la bolsa. Mismas que se muestran a continuación:

- 1.- Previsibilidad: Teniendo en cuenta los históricos de ventas para así prever la cantidad de bolsa que deberá tenerse en stock.
- 2.- Estabilidad: Teniendo un flujo de material (bolsa) constante de acuerdo a la cantidad de pedido establecida.
- 3.- Flexibilidad: Siendo capaces de solucionar inconvenientes que se puedan generar en las tareas que conlleva la recepción de manera oportuna, o bien sustituyendo un pedido por otro en caso de una condición excepcional.

D. Jidoka

Implementar un control interno de calidad que permita establecer índices de calidad para la bolsa que se recibe de parte de los proveedores.

El colaborador deberá llevar a cabo una revisión de rutina a las mercancías donde deberá seguir 4 pasos:

- 1.- Descubrir la anomalía: Identificar durante la verificación del producto si existe alguna anomalía o defecto en la bolsa.
- 2.- Solucionar el problema inmediato: Una vez identificada la anomalía se debe dar solución inmediata retirando todo aquel producto defectuoso, en caso de que sea un lote completo se detendrá el proceso.
- 3.- Buscar y resolver la causa raíz: Investigar si el problema lo ocasionó una causa que podría replicar la problemática de manera recurrente, de ser así, eliminarla.

E. Kanban

Colocando un pizarrón donde se divida en 3 segmentos donde se indique los pedidos que faltan por empacarse, y cuantos ya se han empacado en cada jornada. Esto con la finalidad de verificar que se cumple con el objetivo diario.

En donde cada uno indicará lo siguiente:

- 1.- To do: En esta área se colocan todos los pedidos que han sido empaquetados.
- 2.- In progress: En esta sección se colocarán aquellos pedidos que estén siendo empaquetados.
- 3.- Done: En esta parte del tablero se colocarán todos aquellos pedidos que aún no hayan sido empaquetados, y que se harán posteriormente.

Nota: para esta actividad se requiere 1 pizarrón y 3 plumones (negro, azul y rojo).

F. Poka Yoke

Mediante señales graficas (tarjetas de colores en el almacén) que indiquen cuantas bolsas han sido vendidas, para conocer qué porcentaje de ventas se han surtido de acuerdo al semáforo de tarjetas. Se deberán colocar graficas mensuales de los pedidos que se deben satisfacer como meta a alcanzar, y de manera semanal analizar qué porcentaje se haya cubierto. Según sea el caso se colocará junto a la gráfica una tarjeta del color que corresponda, con la finalidad de visualizar el avance o retraso que se tiene.

Antes de asignar las señalizaciones el colaborador deberá asignar un área donde se colocarán las tarjetas y anotarán en ellas los pedidos que entren en de cada categoría de acuerdo a la siguiente descripción:

- 1.- Tarjeta roja: Esta se utilizará para indicar que solo han sido cubiertos menos del 50% de los pedidos.
- 2.- Tarjeta amarilla: Esta se utilizará para indicar que han sido cubiertos al menos un 70% de los pedidos.
- 3.- Tarjeta verde: Esta se utilizará para indicar que el porcentaje de pedidos cubiertos es mayor al 90%.

G. Kanban

Colocando un tablero donde se indique los pedidos que faltan por entregarse, y cuantos ya han sido distribuidos en cada jornada. Esto con la finalidad de verificar que se cumple con el objetivo diario.

En donde cada uno indicará lo siguiente:

- 1.- To do: En esta área se colocan todos los pedidos que han sido distribuidos.
- 2.- In progress: En esta sección se colocarán aquellos pedidos que estén siendo distribuidos en esa jornada.
- 3.- Done: En esta parte del tablero se colocarán todos aquellos pedidos que aún no hayan sido entregados, y que se harán posteriormente.

Nota: para esta actividad se requiere 1 pizarrón y 3 plumones (negro, azul y rojo).

Proceso 3 “Trapo”

En el proceso de comercialización de trapo se visualizan a través del VSM las 8 estaciones que lo conforman y mediante viñetas amarillas se señalan las 5 herramientas de manufactura esbelta que mejoran el funcionamiento entre las tareas.

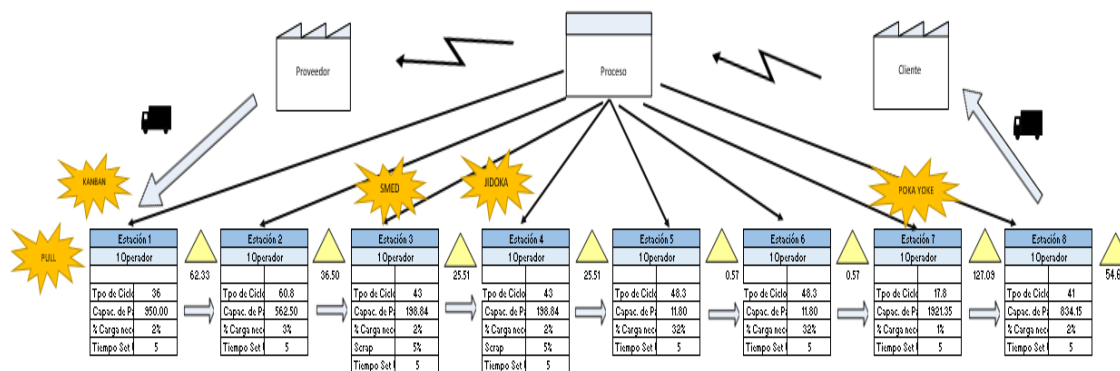


Figura 3. Value Stream Mapping del proceso 3

Diagrama del proceso “trapo” fuente: elaboración propia

Tabla 3. Herramientas utilizadas en cada actividad del proceso 3

#	Actividad	Tiempos	Áreas de oportunidad	Impacto en el proceso
1	Recepción del trapo	Kanban/Pull	Visualización de los pedidos que han sido satisfechos	Es el primer contacto con el trapo
2	Almacenamiento del trapo	N/A	N/A	Es la entrada del producto al almacén
3	Corte	SMED	Reducción de tiempo en el proceso	Es el proceso en que se secciona el trapo
4	Selección	Jidoka	Establecer estándar de calidad en la selección del trapo	Es el filtro que se aplica para separar el trapo de acuerdo a necesidades del cliente
5	Pesado	N/A	N/A	Es el proceso de pesado una vez separado
6	Empaquetado en bolsas	N/A	N/A	Es la colocación del producto en paquetes una vez dividido
7	Venta	Poka Yoke	Visualización grafica sobre el kilaje faltante de surtir	Es la salida del producto del almacén
8	Distribución	N/A	N/A	Puede o no suceder, si es que el cliente solicita el servicio a domicilio

Para el proceso correspondiente al trapo, denominado para efectos prácticos como “proceso 3”. Se consideran dentro del proceso 3 todas aquellas actividades que posibiliten la comercialización del trapo desde su recepción hasta su distribución.

Serán comprendidos en esta categoría todos aquellos productos que no sean: Mercancías en general o bolsa.

Implementación de las herramientas en el proceso #3

A. Kanban

Colocando un tablero donde se indique los bultos de trapo que han sido recibidos en comparación de los pedidos realizados para cotejar que las cifras coincidan, entre lo recibido y lo solicitado.

En donde cada uno indicará lo siguiente:

- 1.- *To do*: En esta área se colocan todos los bultos que han sido recibidos.
- 2.- *In progress*: En esta sección se colocarán aquellos bultos que estén siendo descargados en la jornada.
- 3.- *Done*: En esta parte del tablero se colocarán todos aquellos pedidos que ya fueron solicitados, pero no han sido recibidos.

Nota: para esta actividad se requiere 1 pizarrón y 3 plumones (negro, azul y rojo).

B. SMED

Analizar las sub actividades en el corte de trapo para reducir los tiempos del proceso.

Esta actividad se realizará de manera semestral por parte del colaborador en donde tendrá que llevar a cabo 5e etapas para la revisión, corrección y control de anomalías en el proceso de corte y selección, las cuales se enlistan a continuación:

- 1.- Etapa 1 “Estudio de la situación actual”: Analizar qué actividades intervienen en el corte y selección del trapo.
- 2.- Etapa 2 “Separación interna y externa”: Identificar que actividades pueden realizarse mientras el trapo está siendo cortado y seleccionado (externas) y cuales deben detener el corte y selección para llevarse a cabo (internas).
- 3.- Etapa 3 “Convertir interna en externa”: Buscar la manera de realizar las actividades internas mientras se lleva a cabo el proceso de corte y selección, para evitar detener la operación.
- 4.- Etapa 4 “Mejorar aspectos de preparación”: Realizar actividades antes de comenzar el proceso para evitar detenerlo durante la operación.
- 5.- Etapa 5 “Estandarizar procesos”: Establecer un mecanismo definido que muestre como realizar las tareas una vez que se logró convertir al menos una actividad interna en externa.

C. Jidoka

Implementar un control interno de calidad que permita establecer índices de calidad para el trapo que se procesa y que se recibe de parte de los proveedores.

El colaborador deberá llevar a cabo una revisión de rutina a las mercancías donde deberá seguir 3 pasos:

- 1.- Descubrir la anormalidad: Identificar durante el corte y selección del trapo si existe alguna anormalidad o defecto.
- 2.- Solucionar el problema inmediato: Una vez identificada la anomalía se debe dar solución inmediata según sea la necesidad que debe ser atendida.
- 3.- Buscar y resolver la causa raíz: Investigar si el problema lo ocasionó una causa que podría replicar la problemática de manera recurrente, de ser así, eliminarla.

D. Herramienta a aplicar: Pull

El colaborador deberá solicitar y cortar trapo solo cuando haya pedidos por parte de los clientes.

E. Poka Yoke

Mediante señales graficas (tarjetas de colores en el almacén) que indiquen cuanto kilaje de trapo ha sido vendido, para conocer cuánto se debe surtir. Se deberán colocar graficas mensuales de los pedidos que se deben satisfacer como meta a alcanzar, y de manera semanal analizar qué porcentaje se haya cubierto. Según sea el caso se colocará junto a la gráfica una tarjeta del color que corresponda, con la finalidad de visualizar el avance o retraso que se tiene.

Antes de asignar las señalizaciones el colaborador deberá asignar un área donde se colocarán las tarjetas y anotarán en ellas los pedidos que entren en de cada categoría de acuerdo a la siguiente descripción:

- 1.- Tarjeta roja: Esta se utilizará para indicar que la venta de trapo ha sido menor a los 100kg.
- 2.- Tarjeta amarilla: Esta se utilizará para indicar que han sido cubiertos al menos 300kg de trapo.
- 3.- Tarjeta verde: Esta se utilizará para indicar que se han vendido más de 500kg de trapo.

Resultados

Como parte de la obtención de productos de la implementación de las herramientas se lograron definir formatos tales como: Formato de clasificación del almacén, formato de bitácora mercancías, formato de bitácora bolsa, formato de bitácora trapo, formato vales de salida y acta de recepción de materiales. Además, de la facilitación de control y gestión de los recursos que involucraban cada una de las actividades dentro de los 3 procesos gracias a la adaptación y ejecución de las herramientas de manufactura esbelta.

Gracias a estas obtenciones resultantes, fue posible tener un mayor control del flujo del inventario ya que se supervisó y generó una base de información que hacía rastreables los productos. Y de manera adicional se obtuvo una visualización de las actividades de manera grafica gracias a los mapeos diseñados.

Todo esto en conjunto ha permitido un incremento en la satisfacción del cliente, que percibe de manera indirecta beneficios de la mejora en la cadena de suministro de los productos que comercializa la empresa.

Donde se puede observar un incremento tal como se muestra a continuación:

- Índice de satisfacción del cliente (CSAT) antes de la implementación: promedio de 4.8 igual al 97%
- Índice de satisfacción del cliente (CSAT) posterior a la implementación: promedio de 4.9 igual al 100%

Trabajo a futuro

Seguimiento del funcionamiento de las herramientas y replicación en otras micro empresas de diferentes giros para validar la factibilidad de aplicación en otros giros comerciales.

Conclusiones

Siendo entonces destacable la amplia gama de beneficios que trae consigo la exploración y explotación de las herramientas que conforman la manufactura esbelta, y que siendo seleccionadas específicamente y apoyadas entre sí para lograr mejores resultados. En el caso particular de esta empresa micro comercializadora se observó una mejora en la calidad de operación del servicio de venta, ya que se generó un control interno y estandarización de las actividades.

Referencias

- [1] AEC, "Lean Manufacturing" AEC, Madrid, Webinar, 2018.
- [2] Autycom, "Qué es la manufactura esbelta y cuáles son sus beneficios", Autycom, México, Blog, mayo 2022.
- [3] Angeli, J. "AS IS/TO BE en el mapeo de procesos" Neomind, Brasil, Blog, marzo, 2018.
- [4] Eshkenazi, A., Casey C., "Ready for anything? Turbulence and the resilience imperative" ASCM Connect Community, EE. UU, Webinar, 2021.
- [5] ICIDE México, "Manufactura esbelta "Instituto de capacitación industrial, México, Blog, 2022.
- [6] Medina, J., "Value Stream Mapping, qué es", Toyota, España, Blog, septiembre, 2021.
- [7] Téllez, C., "La otra tragedia: por pandemia cierran 1 millón de MiPymes en México", El Financiero, México, Blog, diciembre 2020.

Gestión del proceso productivo de tilapia hacia la industria 4.0 en Atlixco, Puebla.

Daniel Lara Vargas¹, Roberto Erik Rojas Jiménez², Víctor Genaro Luna Fernández³

¹ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y daniel.larava@alumno.buap.mx, ² Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y roberto.rojasj@alumno.buap.mx, ³ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y vic-tor.lunafer@correo.buap.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

1 Resumen

El primer objetivo fue recabar información sobre la producción de tilapia en la región de Atlixco, Puebla, con el fin de describir y analizar el proceso productivo de la tilapia, para lograr gestionar el mismo con enfoque hacia la industria 4.0, se presentó un sistema que puede ser aplicado en el sistema productivo para solventar algunos problemas, actualizar sus sistemas productivos y hacer un uso eficiente de los recursos. Se concluyó que industria 4.0 y la acuicultura son dos conceptos importantes y que pueden ser relacionados de forma armoniosa, al momento de ser integrados a un sistema productivo, para cumplir con las necesidades y demandas de la sociedad actual, como son alimentos que proporcionen un menor impacto al ambiente y que su valor nutricional (en este caso la producción acuícola de tilapia) no se vea comprometido.

Palabras clave: Gestión, sistemas de producción, industria 4.0, tilapia.

The first objective was to analyze the production of tilapia in the region of Atlixco, Puebla, to describe the production process of tilapia to manage it with a focus on industry 4.0, some proposals were presented that can be applied in the production system to solve some problems, update its production systems and make efficient use of resources. It was concluded that industry 4.0 and aquaculture are two important concepts and that they can be harmoniously related, at the time of being integrated into a productive system, to meet the needs and demands of today's society, such as foods that provide less impact on the environment and that its nutritional value (in this case the aquaculture production of tilapia) is not compromised.

Keywords: Management, production systems, industry 4.0, tilapia.

2 Introducción

Lograr la integración de distintas ideas puede ser complicado y en algunas ocasiones una tarea desafiante, esto porque los objetivos que se persiguen son distintos, para esta investigación se busca la integración de tres conceptos importantes y relevantes como son, la industria 4.0, acuicultura, y la producción de la tilapia, de los cuales es necesario conceptualizar y ahondar en el contexto de los elementos que les conforman, además, unirlos puede proporcionar una perspectiva amplia para ser implementado en el sistema productivo, del cual se hablará más adelante, para proporcionar soluciones eficientes y generar mayores beneficios.

La industria 4.0 o también conocida como la 4ta revolución industrial, es un modelo de organización, control y gestión del sistema productivo, que busca a través del ciclo de vida del producto, mejorar la forma y el cómo se produce algo, ya que una de las principales ventajas de la I4.0 es el uso para distintos modelos de negocios, es decir que no solo las grandes empresas y cadenas de valor pueden ser participantes, entonces todos los que integran este modelo pueden ser beneficiados y alcanzar un mayor nivel de eficiencia al momento de concebir un producto, utilizando distintos tipos de tecnologías. El concepto de la industria 4.0 fue presentado en el foro económico mundial (WEF por sus siglas en inglés) de 2011, entre aquellos elementos que son considerados como transformadores de la industria están: la automatización, uso de IA, Big data (gran almacenamiento de datos), robótica entre otros[1], donde debemos tener en cuenta que la implementación de estas tecnologías puede tener efectos

positivos y negativos, claro está que no existe un nivel utópico en la sociedad actual, sin embargo es importante buscar y perseguir una forma de obtener mayores beneficios y reducir la huella del paso negativo de la humanidad.

Perspectiva global y nacional de la acuicultura

Es necesario recalcar que la acuicultura desde el aspecto global tiene como antecedente a la actividad pesquera. Al momento de hablar de pesca, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) señala en [2] que la situación pesquera a nivel mundial en 1974, los márgenes de sobreexplotación eran del 10%, pero para 2017 este porcentaje se triplicó, dando lugar a la tendencia de una pesca insostenible. Lo anterior es un efecto inherente del aumento poblacional en el mundo y trae consigo la búsqueda y sobreexplotación de los recursos para abastecer la demanda mundial de alimentos, por lo que, la acuicultura actualmente resulta imprescindible para evitar que la situación pesquera continúe la tendencia de sobreexplotación. Por esa misma razón, la FAO en [2] hace una estimación donde señala que en 2018 la producción mundial de pescado ha alcanzado unos 179 millones de toneladas, de las cuales la acuicultura representó el 46% de la producción total.

“Aunque la pesca de captura seguirá siendo importante, la acuicultura ya ha demostrado que cumple un papel esencial en la seguridad alimentaria mundial, dado que su producción ha aumentado un 7,5% por año desde 1970. El reconocimiento de la capacidad de la acuicultura para seguir creciendo, pero también de la enormidad de los desafíos ambientales que debe afrontar el sector a medida que intensifica la producción, exige nuevas estrategias de desarrollo de la acuicultura sostenible.” [2]

El contexto mundial de la pesca y acuicultura se resume en la necesidad existente de que los países adopten estrategias que promuevan la sustentabilidad ambiental en acuicultura [3], paralelamente con el objetivo de que el porcentaje de sobreexplotación de la pesca se reduzca o al menos no llegue a límites insostenibles. Además de actuar como una alternativa preventiva, en la acuicultura se encuentra el incipiente interés por hallar modelos de producción más eficientes que permitan el control de las condiciones de producción de las diferentes especies para su consumo.

En el caso de México, se resalta que es uno de los países con mayor biodiversidad en el mundo, que paralelamente se encuentra reflejada por la variedad de especies marinas que habitan desde los Golfos de México y California, el Océano Pacífico y hasta el mar Caribe. Dentro de estas amplias extensiones acuáticas propias de México, también se contemplan grandes afectaciones hacia estos recursos, donde la pesca ocupa un lugar importante dentro de los efectos adversos, tal como lo menciona la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) que:

“Los principales factores que la afectan negativamente son la contaminación y las actividades pesqueras sin criterios ecológicos que permitan su sustentabilidad. La presión sobre las costas y mares mexicanos se ha incrementado por el aumento en la demanda por recursos turísticos, alimenticios y crecimiento urbano, entre otros, por lo que es fundamental priorizar las zonas de mayor importancia para su conservación.” [4].

Además de mencionar de manera general las causas por las cuales se generan esos efectos adversos hacia la biodiversidad en México, se infiere que hay un enlace directo entre la actividad pesquera con la necesidad de abastecer la creciente demanda del mercado, de tal forma que se promueve a que las unidades pesqueras vayan adoptando un estado de aprovechamiento máximo hasta llegar a márgenes insostenibles. Por esta razón, el Programa Nacional de Pesca y Acuicultura 2020 -2024 resume la situación de las pesquerías de la siguiente manera:

“... el 72.2% se encuentran clasificadas en un estado de Aprovechamiento Máximo Sustentable; 13.9% en status de Deterioradas; 8.3% evaluadas como Deterioradas con capturas mayores al rendimiento sostenible y 5.6% catalogadas con Potencial de Desarrollo, y sólo el caso del Atún Aleta Azul se encuentra en status de sobreexplotado.” [5].

Del panorama anterior, se refleja en menor medida un porcentaje de pesquerías que no se catalogan bajo el concepto de aprovechamiento máximo sustentable, sin embargo, eso no quiere decir que la situación sea tan favorable, sino que, desde otro punto de vista, se infiere que hay un área de oportunidad para las unidades pesqueras, donde puedan focalizar sus esfuerzos hacia la búsqueda de mejores y nuevos modelos de producción que atiendan a la creciente demanda. Por ello, la investigación científica y tecnológica resultan elementos necesarios e inherentes para la adopción de mejoras sustanciales que vayan encaminadas a la mitigación, resolución o prevención de efectos adversos que trae consigo la pesca, pues además en el Programa Nacional de Pesca y Acuicultura 2020 -2024 se sostiene que:

“La investigación científica y tecnológica es un elemento fundamental para alcanzar el máximo aprovechamiento sustentable de los recursos pesqueros y acuícolas. En ese sentido es fundamental para los pescadores y acuicultores del sector rural, que dentro de sus actividades de gestión y productivas tengan el acompañamiento técnico, científico y de innovación que les permita tener una mayor

productividad de manera eficiente y con ello asegurar beneficios tanto en producción como en utilidades e ingresos." [5].

Antecedentes de la industria 4.0 en la acuicultura

Lo anterior, toma más sentido pues ya no solamente se habla del aprovechamiento sustentable de los recursos pesqueros, sino también del aspecto acuícola, que como se mencionó, también representa una actividad de suma importancia por el rol complementario que tiene al momento de buscar el abastecimiento de la demanda de alimentos. Sin embargo, no solo en ello recae su importancia pues también la acuicultura representa una gran área de oportunidad al momento de ser considerada para tener ambientes más controlados y mejores para la crianza, supervivencia y engorda de las especies, mediante el acompañamiento del método científico y tecnológico.

A lo largo de la historia, la evolución y desarrollo de la acuicultura se ha reflejado en cuatro etapas diferentes, hasta arribar a la conjugación de las herramientas tecnológicas con el sector acuícola, al respecto [6] menciona que la Acuicultura 1.0 tuvo lugar en el Siglo XIX en donde la actividad acuícola solo se reducía a el trabajo manual, mientras que la Acuicultura 2.0 se caracterizó por la integración de la mecanización de procesos en el siglo XX, no fue hasta inicios del siglo XXI donde la acuicultura 3.0 hace empleo de procesos automatizados y uso de software para su gestión y en cuanto a la acuicultura 4.0 se refiere al panorama futuro de la acuicultura, cuyas principales características están determinadas por la producción basada en el Internet de las cosas, el manejo masivo de datos, la inteligencia artificial y uso de robots con el fin de buscar la sostenibilidad y economía circular.

La caracterización de cada una de las etapas mencionadas, es un referente de la evolución de los mismos sistemas de producción, sin embargo, la acuicultura 4.0 es el panorama que se toma de referencia para la modernización, tecnificación e innovación de los modelos acuícolas que necesiten adoptar ese conjunto de conocimientos, herramientas, técnicas y actividades de gestión para lograr una producción inteligente, pero sobre todo que sea más responsable con el medio ambiente.

Paralelamente al término de acuicultura 4.0, se desprende como antecedente la Industria 4.0, pues muchos de los elementos que conforman a la acuicultura 4.0 vienen de parte de la lluvia de conceptos que son propios de la industria 4.0 ya que se trata principalmente de la conjugación de la automatización y digitalización de las cadenas de valor mediante el uso de las tecnologías de la información, componentes electrónicos como sensores.

En otras palabras, la industria 4.0 comprende de una serie de consideraciones, conceptos y propósitos, que son propios del mismo contexto:

"El término industria 4.0 se utiliza de manera generalizada en Europa, si bien se acuñó en Alemania. También es habitual referirse a este concepto con términos como "Fábrica Inteligente" o "Internet industrial". En definitiva, se trata de la aplicación a la industria del modelo "Internet de las cosas" (IoT). Todos estos términos tienen en común el reconocimiento de que los procesos de fabricación se encuentran en un proceso de transformación digital, una "revolución industrial" producida por el avance de las tecnologías de la información y, particularmente, de la informática y el software." [7].

Importancia de la industria 4.0 en la producción de tilapia

La acuicultura cada vez está siendo más tecnificada, pero aún lejos de desarrollarse como lo están haciendo otras industrias agroalimentarias en el mundo, donde los avances en tecnologías como Big Data, robótica, Internet de las Cosas (IoT) o Simulación, son cada vez más frecuentes dentro del proceso productivo. Todas estas nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación y los desarrollos Operacionales a través de sensores de última generación, tienen como destino servir de palanca a las aplicaciones basadas en Inteligencia Artificial que están por llegar. Aquellos que sean capaces de subirse a la Cuarta Revolución tendrán más posibilidades de éxito en un mundo cada vez más competitivo y globalizado. Sin embargo, llegar hasta una Acuicultura 4.0 no estará exento de desafíos, siendo el más importante de todos, el de aportar al mercado productos de mayor calidad, eficiencia, rendimiento y mantenimiento preventivo.

El sector en este desafío deberá ser capaz de atraer nuevos talentos en TIC y mejorar las habilidades de los que ya están trabajando; realizar cambios estructurales en las organizaciones reasignando al personal a las nuevas responsabilidades que se generen; avanzar en ciberseguridad; y dotar a las

granjas de acceso a 4G, y en un futuro al 5G, pues no debe olvidarse que, Internet, es el medio de conexión de todas las operaciones.

Caracterización de la tilapia

La tilapia del Nilo puede vivir más de 10 años y alcanzar un peso de 5 kg, constantemente se menciona como una especie "pionera", debido a que la introducción de esta especie en hábitats difíciles, además de su migración y reproducción, no genera una dificultad elevada, estas características logran que incluso supere a las especies nativas, por ello la importancia de cuidar el impacto de esta especie, el rango de temperatura puede variar entre los 11-12 ° C hasta 42 °C, si llegara a bajar o subir del rango mencionado, la tilapia puede morir, tengamos en cuenta que este animal es omnívoro, estando en su dieta conformada por fitoplancton, perifiton, plantas acuáticas, entre otros alimentos como pequeños invertebrados, en cautiverio es muy común se les dé alimento a base de soya, harinas y aceite de pescado, la madurez sexual es alcanzada a los 6 meses aproximadamente [8], y esta se encuentra caracterizada porque después de depositar los huevos y fertilizarse, la tilapia hembra ocupe su boca para guardarlos, hasta su eclosión, de ahí el motivo por el cual la mayor parte de las recolecciones de la tilapia se realicen a los 6 meses o bien ocupar alimentos que contengan hormonas y eviten la reproducción de las hembras, ya que cuando cuidan los huevos usualmente dejan de comer por el periodo de 1 a 2 semanas que conlleva este proceso, es una especie que necesita un control importante en la reproducción, ya que en cautiverio podría salir de control.

3 Metodología

La metodología fue trabajada bajo el enfoque mixto de investigación, tomando tres técnicas adaptadas según las necesidades como recabar información, describir lo observado y para la proyección de mejoras, conformándose de la siguiente forma: de campo para el diagnóstico organizacional del sistema productivo de la tilapia; explicativa por la identificación de áreas de oportunidad en el sistema y proyección de propuesta de mejora para la inclusión de industria 4.0.

Con la investigación de campo realizada, se identificaron a los siguientes productores acuícolas en el municipio de Atlixco y alrededores obteniendo los siguientes datos: localización, disponibilidad para proporcionar información, disposición de tiempo, antigüedad en la producción, objetivos a largo plazo (ver Tabla 1).

Tabla 1. Productores acuícolas de la región

Productor	Localización	Disposición informativa	Disponibilidad de tiempo	Antigüedad de producción	Objetivo
1	Tepeojuma, Puebla	Media	Media	25 años	Comercialización en sitio
2	Camino a Tolometla, Atlixco	Alta	Media	10 años	Comercialización en sitio
3	San Juan Huiluco, Puebla	Media	Media	10 años	Comercialización en sitio
4	San Juan Castillotla, Atlixco	Media	Media	5 años	Consumo personal
5	Santa Ana Coatepec, Puebla	Baja	Media	10 años	Comercialización en sitio

Con la información recopilada, se seleccionó a uno de ellos como caso de estudio específico, haciendo una consideración general a los productores de la región, ya que es necesario desarrollar las bases de industria 4.0 con determinado sujeto para su estudio, que representará mayor confiabilidad y disponibilidad de desarrollar aquellas propuestas de mejora, con un objetivo de implantarlas a largo plazo. Al seleccionar al productor óptimo para el estudio, se aplican técnicas de diagnóstico para la recopilación de información sobre cadena de valor y panorama general de las condiciones de la

empresa, al respecto [9] explica que el objetivo del diagnóstico es la de recabar datos necesarios y referencia al objetivo inicial, tomando en consideración que el uso de la información analizada a través de los datos, apoyará a crear puntos de control para tomar acciones preventivas o correctivas, por otra parte se podría malentender que el diagnóstico, es general y, por ello la recolección de datos se podría tornar en adquirir la mayor cantidad, clasificarla y analizarla aun cuando esta no tenga relación con el objetivo principal, sin embargo la flexibilidad del mismo permite que se pueda hacer un enfoque en situaciones específicas como son departamentos de la empresa, en procesos o actividades determinadas, líneas de producción, sistemas de información o bien, cualquier estructura relacionada a la empresa.

Se diseñó la herramienta de diagnóstico, para utilizarla como guía de entrevista en el segundo contacto con el productor de tilapia que fue seleccionado. La herramienta consta de 4 apartados con 45 reactivos y se encuentra estructurada como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Estructura de la herramienta de diagnóstico

Apartado	Nombre del apartado	Contenido
1	Información esencial	Datos básicos: nombre de la empresa, fundación, número de trabajadores, dimensiones del área de trabajo, tipo maquinaria o herramientas que son utilizadas
2	Información empresarial	Perspectiva administrativa: ideales, objetivos, filosofía empresarial, existencia de manuales de operaciones y capacitación, planes de inversión, registros contables, registros de producción, proceso de producción, elementos del sistema eco sustentable, que tipo de contaminación genera
3	Información interna	Saber cómo (<i>know how</i>): sistema de producción, costos de producción, procesos tecnológicos, actividades que generan ingresos, mermas, controles, proveedores, insumos, técnicas, actividades según puestos, tiempos, tipo de producción, logística interna
4	Información adicional	Contexto de entrevista: algunos datos que se puedan considerar importantes al ser mencionados por el productor, ya que la esencia de lo explicado es completamente empírica y bajo su experiencia, siendo información basta y con algunos datos adicionales a los que se puedan contemplar dentro de las preguntas realizadas

En acuerdo con el productor fue realizado un programa de visitas, con fechas y horas específicas en el que fueron realizadas algunas prácticas supervisadas por el productor, para presenciar el proceso productivo en algunas de sus etapas, como fueron la adquisición del alevín e inserción en jaulas de malla, reacondicionamiento y reubicación de jaulas, alimentación de la tilapia, medición de las tilapias, cambio de jaula de las tilapias, cosecha y limpieza de la tilapia, entre algunas otras actividades, que sin duda alguna, ofrecieron al equipo de trabajo conocimiento en el manejo del sistema productivo y experiencias enriquecedoras en este giro de negocios, además, de ofrecer un punto de vista diferente al momento de analizar el sistema productivo que más adelante fue muy útil para comprender las áreas de oportunidad y como atacar esos problemas con el enfoque de la industria 4.0.

Con toda la información que fue obtenida de forma visual y práctica, se documenta de forma digital, para mejor acceso y análisis de la investigación realizada, la información tuvo que ser concentrada de

manera sistemática, conformada por los siguientes elementos: panorama general de la empresa, marco general de la empresa, diagnóstico general de la empresa, problemáticas, áreas de oportunidad y por último propuestas de mejora rumbo a la industria 4.0.

Algunas de las limitaciones que fueron detectadas durante el proceso de esta investigación, fue la falta de formalidad administrativa, ya que todos los procesos, se realizaban de manera empírica, los controles de calidad eran los mínimos para cumplir con la producción, falta de análisis de riesgos, falta indicadores que permitan verificar y calificar el proceso según la etapa, falta de descripción de actividades y asignación de las mismas, y que incluso mucha de la información no estaba escrita o en algún medio digital, entre algunas otras, dando como resultado algunos errores que fueron observados durante la investigación y, que fueron consideradas como graves, ya que la producción se veía amenaza al tener desperdicios o mermas, impactando de manera negativa en las ganancias.

4 Resultados, Discusión.

Diagnostico organizacional

En un comienzo, las observaciones por parte del equipo de trabajo resaltaron que la producción y el área de trabajo podría denominarse como rústico e informal, pero sin ser precario, ya que es estable y duradera, sin embargo, los controles de calidad eran complejos desde un principio por las siguientes razones: el estanque aunque es de un tamaño considerable solo se pueden utilizar áreas determinadas, denominadas como corrales (jaulas de malla), que para el espacio disponible, resultan ser pocos los que se tienen activos, el espacio no está optimizado, por otra parte se encuentra en la intemperie estando al acecho de depredadores, las condiciones climáticas desde la temperatura (ante temperaturas menores a 20° la tilapia muestra un comportamiento depresivo.), viento (al depositar elementos orgánicos y polvo al estanque), y precipitaciones (por polución en el ambiente, sin contar contaminación) alteran los parámetros del agua, estos factores resultaron ser un foco importante al hacer una descripción y estructurar el proceso productivo. Lo anterior denota el contexto general de la producción de tilapia, desde un comienzo existen áreas de oportunidad que deberán ser atendidas, en conformidad la empresa alcance un grado de madurez y expansión, para lograr explicar de mejor manera los resultados se dividirán en 3 subtemas: administración, producción, problemáticas detectadas con solución de I4.0

Mediante la herramienta de diagnóstico, se obtuvo la información que se concentró en 3 principales rubros, donde se halló la situación empresarial de la siguiente manera:

Tabla 3. Información recabada con la herramienta diagnóstico A1

Apartado 1: Información esencial	
Contenido	Datos básicos: nombre de la empresa, fundación, número de trabajadores, dimensiones del área de trabajo, tipo maquinaria o herramientas que son utilizadas.
Información rescatada	El primer apartado referente a la información esencial, se describe a la organización como una famiempresa del sector industrial y comercial, cuya principal actividad económica se resume en la producción y venta de tilapia, dicha actividad se divide en 3 etapas comprendidas en un lapso de 7 meses; la primera etapa trata de la adquisición de los alevines de tilapia y su posterior aclimatación en el agua del estanque; la segunda, consta del proceso de crecimiento y engorda de la tilapia, procurando la recirculación de agua del estanque; en cuanto a la tercera, da lugar a la comercialización de la tilapia una vez que haya alcanzado el peso dentro de un rango de 450 a 600 gramos. Además, esta famiempresa con más de 3 años en el mercado, cuenta con el apoyo de 4 familiares y un socio que fungen como el recurso humano de esta organización. El estanque ocupa un área de 768.92 metros cuadrados aproximadamente y dentro de este, se encuentran corrales elaborados a partir de mayas con ganchos en los extremos para sujetarse de lazos de acero que cuelgan de un extremo a otro del estanque. Para la limpieza y mantenimiento de los corrales se ocupan cepillos para dicho estanque tiene dos fuentes de

	alimentación de agua siendo el agua de jagüey la principal y la extracción de agua de pozo como fuente secundaria.
--	--

Tabla 4. Información recabada con la herramienta diagnóstico A2

Apartado 2: Información empresarial	
Contenido	Perspectiva administrativa: ideales, objetivos, filosofía empresarial, existencia de manuales de operaciones y capacitación, planes de inversión, registros contables, registros de producción, proceso de producción, elementos del sistema eco sustentable, que tipo de contaminación genera.
Información rescatada	En función del segundo apartado “información empresarial” se determinó que la famiempresa carece de misión, visión y filosofía que sean claras y objetivas, aunado a ello se refleja la ausencia de objetivos generales y específicos que permitan esclarecer y determinar el rumbo de la empresa. Además, se observó que hay una carencia tanto de manuales de procedimientos y funciones como de capacitación, asimismo de la ausencia de la planificación de los recursos financieros para considerar aspectos de inversión y reinversión, también se rescató el hecho de que los registros contables, de producción y del proceso de producción no denotan información suficiente para poder llegar a la toma de decisiones bien sustentada. Otro aspecto más que se observó fue el interés de los productores de tilapia por los sistemas de producción eco sustentable, sin embargo, de manera empírica se rescató que el escape de la especie cultivada o incluso la exposición a factores ambientales puede representar por un lado la invasión de una especie ajena a un ecosistema y por otro lado que no se tenga control sobre la prevención de enfermedades de la tilapia.

Tabla 5. Información recabada con la herramienta diagnóstico A3

Apartado 3 Información interna	
Contenido	Saber cómo (<i>know how</i>): sistema de producción, costos de producción, procesos tecnológicos, actividades que generan ingresos, mermas, controles, proveedores, insumos, técnicas, actividades según puestos, tiempos, tipo de producción, logística interna.
Información rescatada	En cuanto al tercer apartado se identificó que la producción de tilapia se lleva a cabo de manera empírica y con la ayuda y supervisión del socio productor quien es responsable de la gestión del conocimiento y algunas técnicas empleadas en acuicultura, además se identificó que la estructura de información relacionada a reportes de la producción y sus costos era escasa y la información disponible carencia de formalidad, al igual que en aspectos de historiales de ingresos y la consideración y registros de eventos desembocados en mermas, desembocando en la parte vivencial como un acercamiento a esos registros. Dentro de la cuestión de proveedores se registró que se encuentra un centro acuícola que es proveedor de los alevines de tilapia y en función de otros materiales e insumos, el productor es la persona responsable de gestionar y abastecer todo lo que se requiera al momento o inicio de cada ciclo de producción. Se identificó que su sistema de organización tiene poca claridad y formalidad debido a que se prescinde de integrantes familiares al momento de ejecutar tareas específicas, no las lleva a cabo siempre una misma persona por lo que no hay actividades específicas a los puestos correspondientes además de la probabilidad de que el aspecto familiar influya en la toma de decisiones o la ejecución de tareas de manera efectiva. Se registró que la producción de tilapia la llevan a cabo en 3 etapas siendo la primera en la adquisición

	de la materia prima (alevines) , materiales e insumos necesarios para el periodo de 6 o 7 meses, posteriormente entrando en la segunda etapa se caracterizó por la aclimatación de los alevines de tilapia en el estanque, donde se cuida el crecimiento del alevín adyacente a su alimentación, además de procurar que la rotación del agua del estanque sea constante y en días determinados, finalmente en la etapa 3 que trata del mantenimiento y limpieza de los corrales para su preparación a nuevos lotes de producción una vez que se haya seleccionado y comercializado la tilapia.
--	--

Tabla 6. Información recabada con la herramienta diagnóstico A4

Apartado 4: Información adicional	
Contenido	Contexto de entrevista: algunos datos que se puedan considerar importantes al ser mencionados por el productor, ya que la esencia de lo explicado es completamente empírica y bajo su experiencia, siendo información basta y con algunos datos adicionales a los que se puedan contemplar dentro de las preguntas realizadas.
Información rescatada	El productor de tilapia mencionó en algunas ocasiones que este modelo de negocios, en un principio lo realizó por hobby, y antes de la participación de los investigadores, no tuvo en cuenta el industrializar su proceso y que hubiera alguna oportunidad de incursionar en la industria 4.0. Entre otras aportaciones, el productor mencionó que la mayoría de lo implementado hasta el momento, fue por parte de búsquedas en internet y, de la asesoría de un amigo, que en algún momento trabajó en una dependencia gubernamental, relacionada a la acuicultura. Otro aspecto importante que fue mencionado por el productor es que la participación familiar, era un punto crítico, al momento de llevar a cabo el proceso productivo, para lograr un buen desempeño en el negocio familiar, ya que existían conflictos internos para realizar ciertas actividades, aunque las ganancias fueran buenas.

Propuesta de implementación de sistema acuícola hacia la Industria 4.0

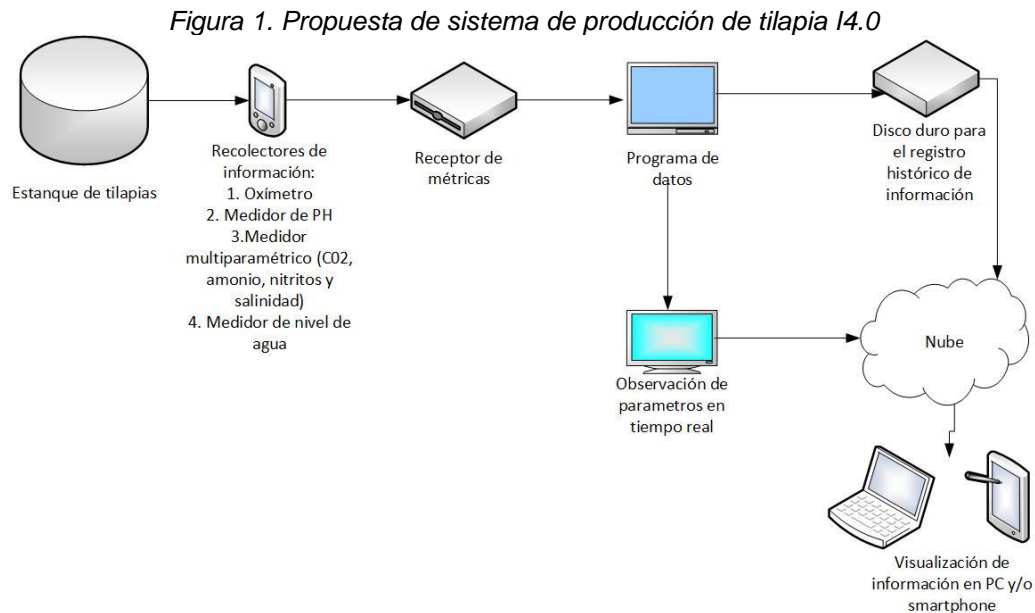
Dentro de las propuestas de mejora (control de problemas críticos para la producción) hacia la Industria 4.0 en el sistema productivo de tilapia, se contempla es necesario tomar en cuenta distintos factores, como se muestra en la tabla 7, además de indicar cuál sería la acción a realizar para corregir el problema.

Tabla 7. Factores críticos en la producción de tilapia

Factor	Problemática	Posible solución
1	Niveles de oxígeno disuelto en el estanque.	Uso de oxímetro y bomba de oxigenación.
2	Control de PH.	Controlador/monitor de PH automático.
3	Control de CO2, Amonio, Nitritos, Salinidad.	Controlador/monitor Multiparámetro automático.
4	Nivel de agua.	Medidor de capacidad con sensor de alerta.

Tomando en cuenta los anteriores factores, es importante implementar un sistema que cuente con algunas funciones principales, que serían, la de recabar información, mostrar los parámetros en tiempo real y, que cuente con alertas disponibles para supervisar si los factores son más altos o más bajos de los ideales. Toda la información debe de recabarse en una terminal, es necesario que la terminal tenga

acceso a la nube, para que en aquellas ocasiones que el productor de tilapia no se encuentre presente por alguna actividad que requiera su atención en otro lugar, siga teniendo contacto con el sistema. En el siguiente esquema se puede apreciar un sistema, que puede ser implementado de forma.



Trabajo a futuro

El trabajo a futuro está estrechamente relacionado, con la iniciativa del productor o dueño de la empresa, ya que como se ha presentado en este trabajo es necesario realizar distintos cambios y aplicar estrategias para generar un crecimiento congruente y estable, sobre todo la parte de la implementación de las mejoras de la Industria 4.0, si bien es verdad que sería necesaria una inversión monetaria a corto plazo, los beneficios obtenidos se prolongarán a largo plazo, por lo que el retorno de la inversión (roi) sería saludable para la empresa, sin generar problemas para la empresa, sin en cambio mayores beneficios.

Por otra parte, la intención de este trabajo es solo ser el inicio de un estudio más ambicioso que de manera ideal, se pueda trabajar con todos los productores de tilapia de la región de Atlixco, Puebla, con el objetivo de estudiar la forma en cómo se administran los procesos, las técnicas utilizadas, y la creación de un modelo estandarizado que permita todos los involucrados tener mayores beneficios, cuidando el impacto que puedan generar con este giro de negocios. Por ello la importancia de publicar y presentar este trabajo, para que ello genere el impacto que se considera principal para continuar con los objetivos de los involucrados.

Conclusiones

La industria 4.0 es una gran oportunidad para todas las empresas, claro que según su tamaño y recursos puede facilitar sus inserción, pero debe tenerse en cuenta que la aplicación, debe de realizarse de forma armoniosa, escalada y planeada, esto quiere decir que no se trata de usar recursos indiscriminadamente y automatizar el proceso productivo solo por hacerlo, ya que esto no cumpliría con la esencia de la industria 4.0, por otra parte es necesario que para su aplicación las empresas busquen tener una estabilidad administrativa, porque la esencia de la administración permite organizar y controlar aquellos aspectos que son fundamentales para la vida de una empresa.

Una de las principales razones por las que introducir la industria 4.0 en una etapa temprana de las empresas, y en este caso sucede, es la poca capacidad de recurso humano, el ocupar a la familia, al principio es factible como en toda famiempresa, y por ello, es necesario estar preparado en el momento que no sea posible utilizar este recurso, principalmente como un plan de crecimiento y acción a futuro, consideramos que esto aplica para toda empresa, por otra parte debe tomarse en cuenta que esto no quiere decir, que aplicar los fundamentos de la industria 4.0 sea eliminar al recurso humano, solo es ser eficientes, ocupar el necesario, darle herramientas y capacitación, para que se cumplan con los niveles de eficiencia y eficacia, que cualquier empresa debería tener.

REFERENCIAS

- [1] D. García Fonseca y Z. J. Arias Caballero, «Análisis sobre los beneficios en la implementación de las tecnologías 4,0 en fábricas de calzado en el último lustro en Colombia», may 2022, Accedido: 21 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/9132>
- [2] *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. Versión resumida*. FAO, 2020. doi: 10.4060/ca9231es.
- [3] CICESEciencia, *La sustentabilidad ambiental y la acuicultura*, (18 de junio de 2020). Accedido: 29 de junio de 2022. [En línea Video]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=qzAMNznbLk0>
- [4] CONABIO, «Sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad marina», *Biodiversidad Mexicana*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/planeacion-para-la-conservacion/sitiosp-marina> (accedido 29 de junio de 2022).
- [5] DOF, «DOF - Diario Oficial de la Federación», 2020. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609194&fecha=30/12/2020#gsc.tab=0 (accedido 29 de junio de 2022).
- [6] J. Cabral Cerra, S. Medina Canzio, K. Su Pucheu, y H. Gómez Morillo, «Boletín de vigilancia tecnológica YakuaTec N° 009», 2022, [En línea]. Disponible en: https://repositorio.pnipa.gob.pe/bitstream/20.500.12864/336/1/Boletin_9_Yakuattec%20Acuicultura%204.0%20VF3.pdf
- [7] J. L. del Val Román, «Industria 4.0: la transformación digital de la industria», presentado en Valencia: Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática, Informes CODDII, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>
- [8] Food and Agriculture Organization, «FAO - *Oreochromis niloticus*», *Cultured aquatic species fact sheets*, 2009. https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_niletilapia.htm (accedido 31 de julio de 2022).
- [9] M. Kubr, *La consultoría de empresas: guía para la profesión*. Limusa, 1999.

Desafíos en la implementación de una feria artesanal por estudiantes del TecNM Campus Chilpancingo

María Esther Durán Figueroa¹, Erika Oropeza Bruno², Kevin Salgado Alarcón³, Fatima Lucero Alarcón Román³, Luis Angel García Molina³.

¹Departamento de Ciencias Económico-Administrativas, TecNM/Campus Chilpancingo, Av. José Francisco Ruiz Massieu no. 5, Colonia Villa Moderna, C.P. 39090 Chilpancingo de los Bravo, Guerrero. México

²Departamento de Ciencias Básicas, TecNM/Campus Chilpancingo, Av. José Francisco Ruiz Massieu no. 5, Colonia Villa Moderna, C.P. 39090 Chilpancingo de los Bravo, Guerrero. México

³Programa educativo de Contador Público, TecNM/Campus Chilpancingo, Av. José Francisco Ruiz Massieu no. 5, Colonia Villa Moderna, C.P. 39090 Chilpancingo de los Bravo, Guerrero. México

*erika.ob@chilpancingo.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería administrativa

Resumen

La Región Centro del estado de Guerrero se caracteriza por tener Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MIPYMES) dedicadas a la elaboración y venta de artesanías. Sin embargo, este sector no recibe los beneficios y el reconocimiento suficiente. En este contexto, como parte de un programa de gestión y apoyo a las MIPYMES artesanales, se organizó y llevó a cabo una feria artesanal, en un lugar estratégico ubicado en la ciudad de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero; con la finalidad de promover e impulsar la riqueza artesanal de la región referida; para ello, fue necesario hacer un análisis FODA como parte de la planeación, identificando un conjunto de desafíos a enfrentar. En el presente documento se presentan los resultados reflejados en la aplicación de una encuesta de satisfacción aplicada a artesanos participantes; también, se propone un diagrama para eficientar el proceso administrativo de la actividad de esta naturaleza.

Palabras clave: Desafíos, Feria Artesanal, MIPYMES, FODA.

Abstract

The Central Region of the State of Guerrero is characterized by having Micro, Small and Medium Enterprises (MIPYMES) dedicated to the production and sale of handicrafts. However, this sector does not receive the benefits and enough recognition. In this context, it was proposed as part of a management and support program for artisan MIPMYES, the realization of an artisan fair, in a strategic place located in Chilpancingo de los Bravo City, Guerrero; that allows promoting and motivating the handcraft wealth in the region mentioned before. It was necessary to carry out a FODA analysis as part of the planning with which the challenges to be faced were determined. This document presents the results reflected in the application of a satisfaction survey applied to participating artisans; in addition, a diagram is proposed to streamline the administrative process due to its nature of the activity.

Keywords: challenges, artisan fair, MIPYMES, FODA

Introducción

La Región Centro del estado de Guerrero se caracteriza por ser una fuente en riqueza artesanal. Los municipios y comunidades aledañas que pertenecen a esta región se han dedicado desde épocas ancestrales a la elaboración de artesanías, utilizando diversas materias primas de la zona como son: la palma, los textiles, los tejidos del tule, la madera, el barro, el carrizo, y las hojas de maíz; con los que fabrican productos como: tazas, cazuelas, jarrones, ollas, figuras decorativas, máscaras, sombreros, bolsas tejidas, petates, servilleteros, tapetes, carteras, esferas, muñecas, arreglos florales, vestidos regionales, huipiles, camisas, blusas, bisutería hecha con piedras multicolores, botellas decoradas y alimentos típicos (pan, nieve, miel, mezcal, natural o de sabores y pulpas de tamarindo) [1].

En la actualidad, existen condiciones de pobreza y niveles altos de marginación en el estado de Guerrero [2]; en este contexto, la elaboración de artesanías es una alternativa de actividad económica para generar ingresos, particularmente, ésta representa la única fuente de sustento en algunas familias y para otras, es una actividad complementaria. De acuerdo con Rojas, Salinas y Carpio (2017) a pesar de que los artesanos han encontrado en este oficio una fuente para crear empleo, en la actualidad presentan algunas dificultades como:

- El poco reconocimiento social por parte de las generaciones actuales, al pensar que las artesanías son anticuadas y obsoletas, que ya no tiene cabida e importancia en la sociedad de ahora.
- Los precios bajos del público para adquisición de artesanías, por no percibirlo como objetos costosos o valiosos, por lo tanto, el público que las consume está acostumbrado a pagar poco, porque se ignora todo lo que implica el proceso de producción.
- La comercialización en pequeña escala.
- Los artesanos dependen de los intermediarios debido a la falta de canales de distribución, estos adquieren las artesanías a bajo costo dejándole un margen de ganancia mínima al artesano productor [3].

Los artesanos de México en la actualidad, dan a conocer sus productos a través de diferentes medios para su comercialización de manera particular como: locales, tianguis artesanales, mercados y ventas desde el hogar o taller.

La Feria artesanal es un evento realizado en un espacio físico y fecha determinada que fomenta el desarrollo y crecimiento de los emprendimientos locales a través de la comercialización de artesanías únicas que mantienen viva la esencia del patrimonio de México. El objetivo de estas es para incitar a las nuevas generaciones y sociedad actual el uso y consumo de los productos hechos a mano para que no se olviden de su pasado y sus orígenes [4], [5].

Para la realización de la Feria Artesanal en la localidad de Chilpancingo de los Bravo, Guerrero, fue necesario hacer la revisión de las etapas del proceso administrativo: la planeación, la organización, la dirección y el control. La planeación permite tener un panorama de lo que se quiere lograr, minimizar los riesgos, aprovechar al máximo todos los recursos humanos, materiales y financieros y lograr el objetivo con un éxito mayor [6]. Esta etapa es la más importante y compleja del proceso administrativo, de la planeación dependen las fases de organizar, para posteriormente dirigir y controlar lo planeado.

Se da paso a la etapa de organización diseñando una estructura que nos permita ordenar cada elemento con que se cuenta según Cano (2017) la estructura organizacional se representa a través de clasificación de actividades y asignación de responsabilidades; posteriormente, la fase de dirección se enfoca en la ejecución o implementación de los planes, en base a la organización que se diseñó. Es importante que se guíe y se motive a los responsables para un mejor logro de sus actividades. En la etapa de control se evalúa que las actividades que se realizan coincidan con las actividades planeadas, y en caso necesario, corregirlas y retroalimentarlas para garantizar éxito en lo planificado.

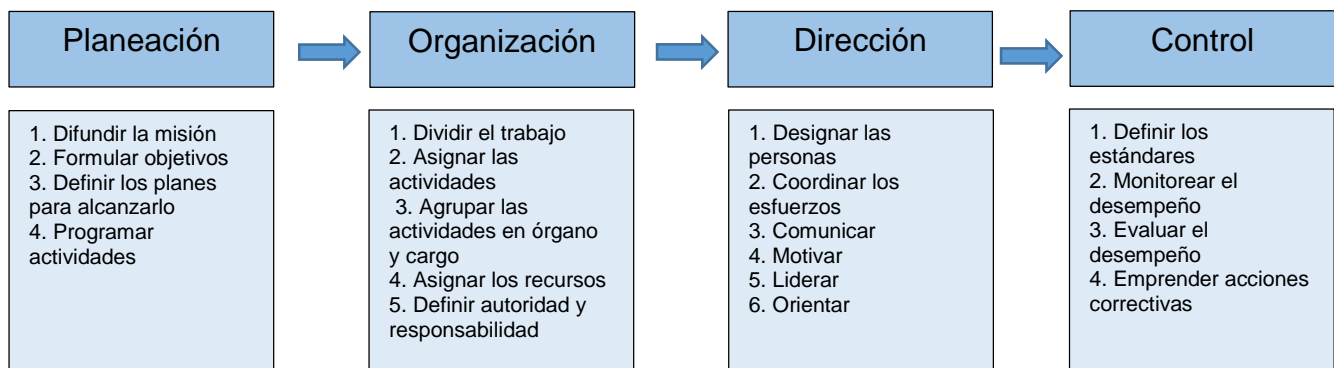


Figura 1. Proceso administrativo (Chiavenato 2006)

Para enfrentar de manera eficaz los desafíos que implica realizar la planificación, fue necesario realizar hacer un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) personal por cada integrante del equipo organizador, para conocer los atributos o destrezas y con base en ello, designar responsables en las actividades que tengan más competencias, y se facilite ejecutar el plan para conseguir los resultados esperados.

Para los artesanos, las posibilidades que brinda una feria artesanal son oportunidades para exponer sus productos hechos por ellos mismos, con el deseo de vender más y que sus productos sean también, conocidos y valorados por los consumidores; además, les brinda la posibilidad de ampliar su red de contactos de proveedores, clientes y distribuidores. Durante este tipo de eventos también se pueden encontrar especialistas de este sector que podrían asesorar para llevar a cabo las actividades del negocio de una manera más eficiente.

Cabe destacar que Chilpancingo de los Bravo es un lugar mediador para la venta de artesanías, por contar con comunidades cercanas que se dedican a la elaboración de artesanías y por ser la capital, tiene influencia política estatal que apoyan a los artesanos, como la Secretaría de Fomento y Desarrollo Económico (SEFODECO) y el H. ayuntamiento municipal a través de la secretaria de cultura promueven la realización de las expo ferias, zocaleadas y ferias artesanales, con el objetivo de promover la economía local y la artesanía guerrerense [7].

Para el desarrollo de la feria artesanal se presentaron una serie de desafíos identificados por el equipo organizador del evento, los principales se relacionan en la tabla 2:

Tabla 2 Desafíos para la organización de una feria artesanal en Chilpancingo, Guerrero.

Núm.	Desafíos
1	Gestionar la autorización de la sede (espacio físico), toldos y mobiliario.
2	Gestionar la autorización de las fechas de realización.
3	Contactar e invitar a los artesanos.
4	Gestionar patrocinios para las acciones promocionales (playeras y lonas, principalmente).
5	Diseñar y difundir una campaña de publicidad.
6	Organizar las tareas de logística.
7	Gestionar personal de apoyo para atender la logística del evento.
8	Contratar personal de seguridad para resguardar el mobiliario y artesanías durante el evento.
9	Supervisar el montaje de toldos y mobiliario para el evento.
10	Verificar a los artesanos que asisten al evento.
11	Monitorear el desarrollo del evento de principio a fin.
12	Supervisar el desmontaje y entrega de toldos y mobiliario.

Metodología

Caracterización del área de estudio

El estado de Guerrero se encuentra al sur de la parte central de la República Mexicana sobre la costa del océano pacífico, este se compone de siete regiones: Norte, Montaña, Tierra Caliente, Costa Chica, Costa Grande, Acapulco y Centro.

El estudio de esta investigación se enfoca en la Región Centro del Estado de Guerrero, misma que está conformada por trece municipios: Ahuacutzingo, Chilapa de Álvarez, Chilpancingo de los Bravo, General Heliodoro Castillo, Juan R. Escudero, Leonardo Bravo, Mártir de Cuilapan, Mochitlán, Quechultenango, Tixtla de Guerrero, Zitlala, Eduardo Neri y José Joaquín de Herrera [8]. Al ser una región con una actividad artesanal activa, se organizó y desarrolló una feria artesanal en la ciudad de Chilpancingo de los Bravo (además, capital del estado) con la finalidad de apoyar a los artesanos de estos municipios de la Región Centro en las gestiones que conlleva la realización de un evento de esta naturaleza.

Determinación de la muestra.

Para la participación de artesanos de la Región Centro del estado de Guerrero en la feria artesanal, se realizaron diferentes publicaciones de la convocatoria en redes sociales y en la página oficial de Facebook del TecNM campus Chilpancingo; así mismo, se realizaron visitas personalizadas a un grupo de artesanos localizados en las poblaciones de Chilapa de Álvarez, Amojileca y Tixtla de Guerrero para invitar de manera directa y motivar la participación en el evento. Derivado de las actividades mencionadas, se logró contactar a 54 artesanos, de los cuales 36 de ellos se registraron y confirmaron su asistencia al evento; finalmente, en los días del evento se contó

con la participación de 32 artesanos, para determinar el tamaño de la muestra ver Tabla 1. Dando seguimiento a los artesanos confirmados que no asistieron, informaron los siguientes motivos: problemas de salud, falta de transporte y carencia de recursos para cubrir gastos, principalmente.

Tabla 1. Fórmula estadística para la determinación del tamaño de la muestra.

$n = \frac{N}{1 + N(e)^2}$		
variable	Descripción	Valor
N	Tamaño de la población	54
n	Tamaño de la muestra	
nc	Nivel de confianza	98%
e	Error de muestra	11%
Sustitución de valores:		
$n = \frac{54}{1 * 54(0.11)^2} = \frac{54}{1.6534} = 32.66 = 32$		
$n = 32$		

Instrumento de Investigación

En la presente investigación se diseñó como instrumento de recolección de datos una encuesta, conformada por 6 preguntas escala Likert, 3 preguntas de opción múltiple y 4 preguntas abiertas, todas ellas relacionadas a los siguientes elementos: información brindada para asistir al evento, espacio asignado, desarrollo de la feria artesanal y la impartición de dos talleres (Desarrollando mi valor artesanal y Emprendiendo a la exportación) como parte de la agenda de dicha feria.

La aplicación de la encuesta a los 32 artesanos participantes, se realizó el segundo día de la feria artesanal, previo al cierre del evento, con el objetivo de conocer el nivel de satisfacción alcanzado respecto a la organización y desarrollo del mismo.

Resultados

La feria artesanal “Raíces de mi Tierra” se llevó a cabo los días 26 y 27 de mayo del 2022 organizada por un equipo de estudiantes del TeCNM Campus Chilpancingo, en la Plaza Cívica “Primer Congreso de Anáhuac” en la ciudad de Chilpancingo, Guerrero, como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Feria Artesanal “Raíces de mi Tierra”

Se programó realizar una encuesta a 36 artesanos que se tenían contemplados para su participación en la Feria artesanal “Raíces de mi Tierra”, de los cuales se le aplicó a 32 que asistieron a dicho evento. Las gráficas que se

presentan y describen a continuación, se elaboraron con base en las respuestas expresadas por el grupo de artesanos que participó con la exhibición y venta de sus artesanías en la feria referida.

El empleo de las respuestas de la encuesta busca dimensionar el nivel de satisfacción alcanzado, iniciando con las opiniones de los artesanos, con lo cual se pretende mejorar la organización de futuros eventos de esta naturaleza en apoyo al fortalecimiento de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MIPYMES) dedicadas al sector artesanal de la Región Centro del estado de Guerrero.

Los artesanos de las localidades de la Región Centro e invitados de la Región Norte que participaron se observan en la figura 3.

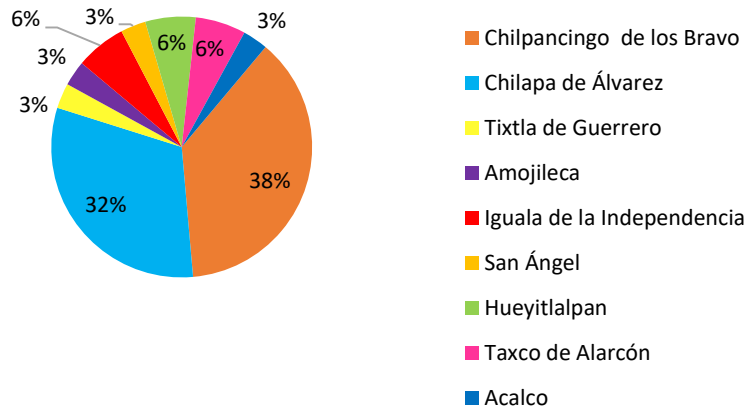


Figura 3. Porcentaje de localidades de los artesanos encuestados

Partiendo de la información que se les proporcionó a los artesanos para que participaran en la feria artesanal, el 84% de los encuestados evaluó con un nivel "Totalmente satisfecho" y solo el 16% el resultado que se obtuvo fue "Moderadamente satisfechos". La razón que originó este resultado fue que los artesanos no respondían a los requerimientos tomados en cuenta para su registro como se observa en la figura 4.



Figura 4. Nivel de satisfacción con la información para asistir a la Feria Artesanal

A cada artesano que participó en el evento se le asignó un espacio adecuado donde pudiera exhibir sus productos y venderlos, atendiendo las necesidades que requerían, situación que motivó las respuestas con un nivel de satisfacción alto por parte de los encuestados, ya que el 94 % estuvo "Totalmente satisfechos" que se muestran en la figura 5, considerando este resultado se debe tomar en cuenta en la planeación la asignación de áreas especiales a los alimentos artesanales y los productos cosméticos, debido a que se debe evitar la exposición directamente al sol.



Figura 5. Nivel de satisfacción con respecto al espacio asignado en la Feria Artesanal

Para el desarrollo eficiente de la feria artesanal, el equipo organizador afrontó cada uno de los desafíos que se presentaron de la mejor manera; situación que se reflejó en las respuestas de la encuesta aplicada a los artesanos participantes quienes calificaron el desarrollo de la feria artesanal con un 87% de “Totalmente satisfechos” y el 13% estuvieron “Moderadamente satisfechos”, información detallada en la figura 6.



Figura 6. Nivel de satisfacción con respecto al desarrollo de la Feria Artesanal

El programa de la feria artesanal consideró implementar cursos/talleres de ayuda para jóvenes y adultos artesanos del estado de Guerrero, para que adquieran nuevos conocimientos para manejar y expandir un negocio con éxito, para lo cual se solicitó apoyo con un ponente al Instituto Guerrerense del Emprendedor. El primer taller se impartió bajo el nombre “Desarrollando mi valor artesanal” su finalidad fue que revaloraran su trabajo y el valor agregado a su producto.

Donde replantea su forma de ver su negocio, el cual debería tener un nombre propio, característico de su producto y atractivo al público, además de darlo a conocer a través de medios digitales de difusión (redes sociales) para impulsar su marca y llegar a más público.

Los resultados arrojados en el taller/curso fueron 44% con un nivel de “Totalmente satisfechos”, el 31% “Moderadamente satisfechos” y el 25% se mostró indiferente. Dichos resultados se muestran en la figura 7.



Figura 7. Nivel de satisfacción con respecto con el taller “Desarrollando mi valor artesanal”

En la feria artesanal se realizó un segundo taller impartido a los artesanos fue “Emprendiendo a la exportación” que tiene como finalidad que comercialicen sus productos en el extranjero para llegar a nuevos mercados. Teniendo en cuenta que cumplan con la documentación requerida para exportación según Ley Aduanera vigente.

Los datos obtenidos en el sondeo se muestran en la figura 8. Los resultados fueron: 28% “Totalmente satisfechos”, 53% “Moderadamente satisfechos” y el 19% indiferente. Lo que reflejo estos resultados fue que el taller/curso se impartió durante las horas de venta lo que hizo una comunicación deficiente.



Figura 8. Nivel de satisfacción con respecto al taller “Emprendiendo al a exportación”

Con base en los resultados obtenidos a través del instrumento implementado, la población artesanal que participó en la feria, en general, expresó quedar satisfecho respecto de los factores principales, tales como, la organización y desarrollo del evento en cuestión. Dichos datos servirán de base para generar una mejor propuesta de feria artesanal para próximas ediciones. A pesar de las dificultades enfrentadas, el equipo organizador adquirió una gran experiencia al aplicar los conocimientos que se adquieren en el aula, con la satisfacción de contribuir en beneficio del sector artesanal de la Región Centro del Estado de Guerrero.

El siguiente diagrama de flujo (Figura 9), se concentra el conjunto de las actividades realizadas y los desafíos cumplidos en la realización de la Feria Artesanal.

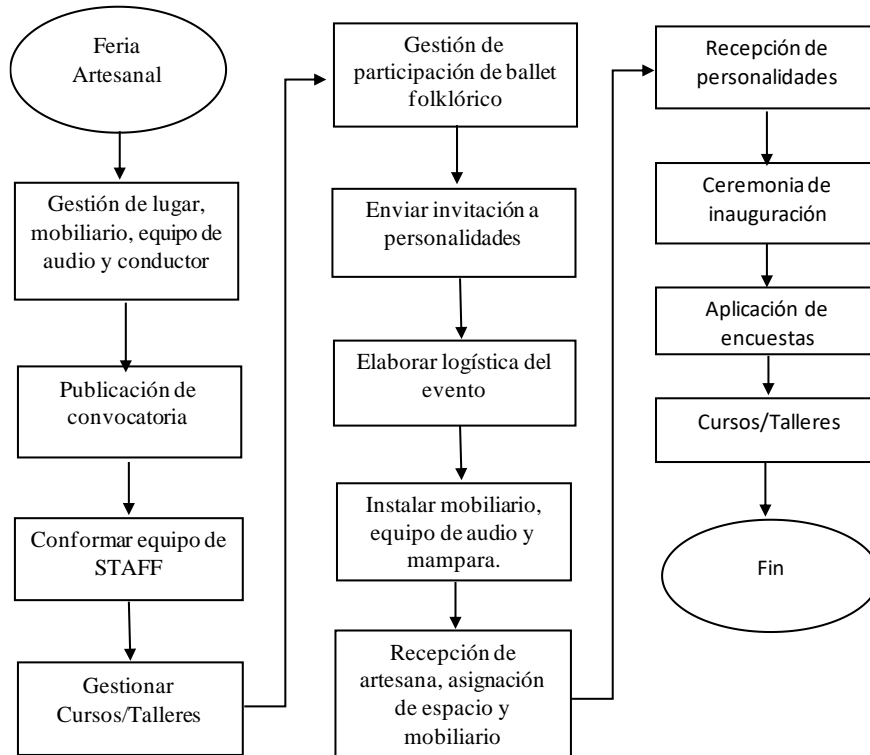


Figura 9 Diagrama de flujo: Feria Artesanal

Trabajo a futuro

Para efectos de dar seguimiento al proyecto que beneficie al sector artesanal de la Región Centro del estado de Guerrero y con el objetivo de aumentar el número de artesanos beneficiados, se pretende elaborar un plan de trabajo que incluya mejoras con base en las necesidades identificadas durante la realización del presente trabajo de investigación.

También se considera conveniente y de gran beneficio para los artesanos, gestionar el primer tianguis de cultura y artesanías en la capital del estado de Guerrero, el cual permitirá la comercialización en un lugar establecido y con ubicación accesible para los pobladores de la región, de los familiares visitantes y turistas.

Conclusiones

La Región Centro del estado de Guerrero es una fuente activa de productos artesanales, que enfrenta una multitud de retos que impiden su crecimiento económico. Durante el periodo de la investigación, se visitó el tianguis de Chilapa de Álvarez donde se identificaron, de manera directa, algunas características de la situación actual que enfrentan las familias que se dedican a la elaboración y por ende, la comercialización de artesanías.

En este contexto se identificaron factores negativos que impiden el desarrollo de este sector, tales como: económicos, administrativos, sociales y de organización. Los factores económicos están relacionados con el alza de precios en la materia prima que impide invertir en cantidades suficientes para cumplir la demanda del mercado, los administrativos afectan en gran medida ya que no utilizan ningún método para el control de sus negocios,

mientras que el factor social cada vez es más grave debido a que las nuevas generaciones no se interesan en fortalecer este sector económico y finalmente, el organizacional ya que no existen grupos o sindicatos que regulen a los artesanos, permitiendo la comercialización desleal.

Respecto a lo anterior, consideramos que es muy importante la participación de los estudiantes de nivel licenciatura, como en esta ocasión del TecNM campus Chilpancingo, en la organización y desarrollo de eventos que contribuyan en lograr mayores beneficios a las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MIPYMES) del sector artesanal.

Referencias

- [1] A. Cajal, «Lifeder,» 2 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/artesantias-guerrero/>.
- [2] CONAPO [Consejo Nacional de Población], «Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2020,» Mayo 2020. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/634902/Nota_tcnica_marginaci_n_2020.pdf.
- [3] I. Saligan, V. Salinas y P. Del carpio "Dificultades en torno a la producción artesanal", vol 3, no. 2, 2017
- [4] C. Cano, La administración y el proceso administrativo, Bogotá: Universidad de Bogotá, 2017.
- [5] C. y. P. S. Gianella, «Soluciones Prácticas,» Manual para la organización y participación en ferias artesanales, p. 10, 2017.
- [6] R. Rivas, «La artesanía: patrimonio e identidad cultural,» *Museología Kóot*, p. 86, 2018
- [7] Gobierno de México, «Secretaría de Cultura,» 10 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/cultura/prensa/festival-artesanal-compra-lo-nuestro-por-amor-a-guerrero-reune-a-150-artesanos>.
- [8] Para todo México, «Para todo México,» 15 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://paratodomexico.com/estados-de-mexico/estado-guerrero/index.html>

Fintech en programas de apoyo para jóvenes, una alternativa para la inclusión en México

Laura Verónica Herrera Franco¹, Omar Juárez Rivera², Yara Anahí Jiménez Nieto³, Adolfo Rodríguez Parada⁴,
Edmundo Aguilar Campos⁵

Área de participación: Ingeniería Administrativa.

RESUMEN

En épocas de crisis económicas y de escasez de recursos, las carencias sociales se evidencian fuertemente y toman efectos en distintas direcciones. De ahí que esta propuesta tenga como objetivo de investigación evaluar la posibilidad de insertar el tema de finanzas tecnológicas dentro de programas de apoyo a jóvenes, para atender la problemática de la inserción financiera en México. Es un tipo de estudio descriptivo, basado en fuentes de información secundarias, incluso al aplicar procedimientos estadísticos, son datos cuantitativos recopilados previamente por instituciones formales. Emplea métodos de indagación documental, analítico y de síntesis. Se podrá deducir que, al fortalecer los talentos de tecnología financiera en los jóvenes, existe una alternativa de cierre de brechas sociales en México, auspiciada por los mismos programas de gobierno que ya están en operación. Es un indicio al tema, para posteriormente determinar la correlación entre sus variables a partir de información directa.

Palabras clave: *Tecnología financiera (fintech), jóvenes, inclusión en México, programas de apoyo*

ABSTRACT

In times of economic crisis and scarcity of resources, social deficiencies are strongly evident and take effects in different directions. Hence, this proposal has as a research objective to evaluate the possibility to include the issue of technology finance within youth support programs, to address the problem of financial insertion in Mexico. It is a type of descriptive study, based on secondary sources of information, even when applying statistical procedures they are quantitative data previously collected by formal institutions. It uses documentary, analytical and synthesis methods of inquiry. It can be deduced that, by strengthening financial technology talents in young people, there is an alternative to close social gaps in Mexico, sponsored by the same government programs that are already in operation. It is an indication of the subject, to later determine the correlation between its variables from direct information.

Key Words: *Financial technology(fintech), youth, inclusion in Mexico, support programs.*

¹ Universidad Veracruzana, vherrera@uv.mx

² Universidad Veracruzana, ojuarez@uv.mx

³ Universidad Veracruzana, yjimenez@uv.mx

⁴ Universidad Veracruzana, adrodriguez@uv.mx

⁵ Universidad Veracruzana, edaguilar@uv.mx

Introducción

La tecnología financiera (fintech) ha venido a modificar no solo la manera en que se pueden llevar al cabo los negocios en la economía mundial, además, por sus propias características disruptivas ha impactado en la vida de los usuarios de servicios financieros. En el caso de nuestro país, a partir del índice desarrollado por la consultora Erns & Young en cuanto a la adopción en forma regular de las de las fintech, se observa en el año 2017 que, "México ocupa el lugar número 7 en adopción (36%) sólo después de España (37%), y por arriba de Estados Unidos (33%) [1]. También, instituciones económicas mundiales como el Fondo Monetario Internacional, reconocen la importancia de la etapa digital que vivimos, "La digitalización está transformando la economía; debemos lograr que el proceso beneficie a todos" [2]. Bajo esa necesidad y de continuar con esa asimilación de las Fintech, es decisivo que la formación de los individuos vaya al menos a la par de esa vertiginosidad en los sistemas financieros, así como responder a una demanda social de inclusión, para este caso, financiera.

Precisamente, para atender la educación financiera definida como "...aptitudes, habilidades y conocimientos que la población debe adquirir para estar en posibilidad de efectuar un correcto manejo y planeación de sus finanzas personales" [3], y también su demanda, es que resulta fundamental una alternativa en la formación de los individuos. De acuerdo a un estudio realizado sobre la relación entre las fintech y la inserción financiera y haciendo un breve análisis de cómo se ha fomentado ese vínculo en los casos de México, Chile y Perú; se encontró como una conclusión que "el camino hacia la inclusión financiera digital no es uno solo. Las tres economías seleccionadas han denotado una participación público-privada muy diferenciada y, aun así, alcanzado importantes logros en materia de inclusión financiera y desarrollo del sector *Fintech*" [4].

Otro análisis sobre jóvenes estudiantes en México y su nivel de formación financiera, ha determinado: "la juventud en nuestro país no ha alcanzado los niveles satisfactorios al respecto. Según la UNAM y Banamex, jóvenes entre 15 y 29 años tienen una baja cultura financiera ya sea por desinterés o por desconocimiento, además de ello, tienen desconfianza en el sistema bancario" [5].

Existe además el argumento -y como se detalla en esta investigación más adelante-, de reconocer que los jóvenes (personas entre 18 y 40 años de edad) tienen particular ventaja en el uso de los medios tecnológicos, porque se identifican con esos temas, por lo que es un antecedente que puede justificar la ventaja de esa peculiaridad al elaborar una propuesta que busque atender la brecha inclusiva en la población. Además, si ya existen programas de gobierno que son cercanos y tienen registrados a ese grupo de personas, se estaría, de inicio, encontrando una posible alternativa de atención al tema. Por supuesto, es ya menester posterior evaluar los costos de implementar esa incorporación.

Así, esta investigación presenta un breve marco conceptual al tema, que busca argumentar con cifras y conceptos las circunstancias actuales del asunto en cuestión; posteriormente detalla la metodología, la información obtenida de manera secundaria, la estadística utilizada, y para concluir con la comprobación de la hipótesis alterna.

Marco de referencia

El uso de medios tecnológicos

Considerando que la tecnología en momentos de problemas sociales puede ser un aliado estratégico, siempre que no distinga más los grupos en desventaja, entonces podríamos suponer que el tener acceso a una red de interconexión mundial y a un teléfono móvil, daría la posibilidad a los ciudadanos de escalar en su participación financiera. Según INEGI "Para 2020, 91.8% de los usuarios de teléfono celular tiene un equipo inteligente (Smartphone) y 78.3% de la población urbana es usuaria de internet. En la zona rural la población usuaria se ubica en 50.4 por ciento" [6].

Las finanzas tecnológicas (fintech)

La obtención, gestión y aplicación del recurso monetario de una manera óptima, corresponde al campo de las finanzas; cuando este se interrelaciona con los medios electrónicos o tecnológicos puede avanzar en una serie de oportunidades o modelos de negocio para los prestadores de servicios, pero también para los consumidores de ellos. Actualmente las fintech o tecnofinanzas, "son «innovaciones financieras propiciadas por la tecnología que podrían dar a lugar a nuevos modelos de negocio, aplicaciones, procesos o productos con un efecto sustancial sobre los mercados y las instituciones financieras y la prestación de servicios financieros" [7].

Programas de apoyo para jóvenes en México

Al menos se puede citar un programa de apoyo para los jóvenes emitido por el gobierno federal en México, que lleva por nombre Jóvenes Construyendo el Futuro, teniendo en común con esta propuesta la edad en promedio de los posibles beneficiarios, entre 18 y 29 años, además del enfoque de actualización en sus competencias. Tal Programa en el año 2019 “benefició a 1,120,543 jóvenes y para 2020 a 444,585 nuevos beneficiarios, lo que representa, al cierre de 2020, un total de 1,565,128” [8].

Los jóvenes y la tecnología

En cuanto hace al uso de los medios tecnológicos y a partir de la información de la economía positiva, se tienen datos de la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares que muestran que los jóvenes, circunscritos a personas entre 18 a 34 años de edad, son los mayores usuarios de internet en México, acentuados en el área urbana en relación con la rural. Respecto al uso de los teléfonos móviles, en 2020 “se cuenta con 88.2 millones de usuarios de esta tecnología, lo que representa que 75.5% de la población de seis años o más” [6], es decir, los medios tecnológicos pueden ser asequibles en diversos sentidos a ese conjunto poblacional en México. Asimismo, la utilización de internet y de los *smartphones*, para esos mismos habitantes (al menos en regiones urbanas) no es una limitante para aplicar las fintech. Otra circunstancia que fundamenta lo anterior, es que tal grupo de estudio ha demostrado su aceptación a las innovaciones, por mencionar, la teoría de difusión de las innovaciones propuesta por Rogers que busca explicar la forma en que las nuevas ideas son adoptadas por una población.

La inclusión financiera en México

De acuerdo al Consejo Nacional de Inclusión Financiera en diciembre del año 2020, se tenían 13,932 cuentas de banca, así como entidades de ahorro y crédito popular, entre otras por cada 10 mil personas adultas; con 43.9 transacciones y transferencias electrónicas per cápita anual [9]. Los planes evaluables en ese periodo de tiempo también mencionan en uno de sus objetivos (No. 4), una línea de acción específica para Competencias económico-financieras, igualmente hacen referencia en sus objetivos 2 y 3 a los indicadores medibles sobre pagos digitales y a la infraestructura necesaria para el acceso a esos servicios, elementos importantes para el tema. Por lo tanto, de ninguna manera es ajeno a la gestión pública ese proceso en la mejora de los talentos humanos en el área financiera.

Metodología

Se desarrolla una línea de investigación, considerando que, para la puesta en ejecución del planteamiento del estudio se requeriría la decisión por parte del gobierno para incluirlo como uno de sus objetivos en el Programa de JCF.

a) Línea de investigación o hipótesis

El acceso al tema de fintech en el Programa de JCF mejorará la inclusión financiera en México

Sus variables:

La adhesión del tema de fintech en el Programa JCF.- Independiente

La inclusión financiera en México. - Dependiente.

b) Tipo y método de investigación

Es un estudio descriptivo, y se utilizaron métodos de investigación analítico, deductivo e hipotético. Asimismo, la estadística es decisiva en el procedimiento y resultados. En cuanto hace a la población, escalas y sistemas de unidades determinados, se comentarán en el apartado de Procedimiento y de Discusión

c) Técnicas e instrumentos

Al ser un tipo de estudio con variables cuantitativas, se emplearon técnicas de investigación documentales y estadísticas. Las primeras, porque se verificaron datos numéricos ya recabados previamente por organismos gubernamentales, como ya se comentó; las segundas debido a que se empleó la *t* de Student como prueba de hipótesis, entre otras herramientas y métodos, a pesar del número de datos tratados, no afecta significativamente

el resultado. No se empleó un instrumento de recolección de información de una fuente primaria directa, pero sí se aplicaron fórmulas e integraron tablas a partir de las fuentes de información secundaria.

d) Procedimiento

Basado en el desarrollo de una prueba de hipótesis se utilizará la distribución t de Student (Ver Fórmula No. 1), considerando:

- No se aplicó un instrumento de medición, es decir, las fuentes de información son indirectas y a partir de ellas se determinó el análisis y presentación de información indirecta en tablas, y mediante aplicación de software como Excel.
- Las variables son cuantitativas con escala de medición de razón e intervalo, y unidades de medición porcentuales.
- Las hipótesis planteadas:
Ho= El acceso al tema de fintech en el Programa de JCF no mejorará la inclusión financiera en México
Ha= El acceso al tema de fintech en el Programa de JCF mejorará la inclusión financiera en México

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

Fórmula No. 1: t de Student [10].

Paso 1.- La variable independiente requiere tratar la tecnología financiera que por su naturaleza incorpora los medios digitales; y también se alude al Programa JCF, obteniendo la Tabla No. 1

Indicador que afecta a la variable	Información numérica de la variable	Efecto de la variable en la comprobación de hipótesis
Eficiencia en la cobertura de programas de gobierno. Determinada por la proporción de población atendida entre población objetivo, según el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) 2020	De un total de 151 programas en 2020, 135 son evaluables, y 129 tienen datos para calificarse.	Para la determinación de la media y de la desviación estándar, procesando mediante Excell. Ver Tabla No. 2 y Fórmula No. 1
Programa Jóvenes Construyendo el Futuro (PJCF)	Jóvenes beneficiados al cierre de 2020: 1,565,128	Para la determinación del posible tamaño de la muestra, 1% del total. Ver Fórmula No. 1

Tabla No. 1: Integración de la variable independiente para comprobación de hipótesis [6], [11]

Eficiencia programas al año 2020				8.12	73.61	-65.49	4289.52968
Proporción en %	Media	Cálculo de desviación estándar		94.93	73.61	21.32	454.337319
21.93	73.61	-51.68	2670.62448	0.01	73.61	-73.60	5416.28895
115.04	73.61	41.43	1716.48525	15.14	73.61	-58.47	3419.15467
0.00	73.61	-73.61	5418.4321	393.25	73.61	319.64	102172.174
6.07	73.61	-67.54	4561.57094	128.57	73.61	54.96	3020.75863
93.99	73.61	20.38	415.345042	14.39	73.61	-59.22	3506.87292
92.53	73.61	18.92	357.824455	22.20	73.61	-51.41	2643.33389
100.00	73.61	26.39	696.4321	100.00	73.61	26.39	696.4321
0.00	73.61	-73.61	5418.4321	100.00	73.61	26.39	696.4321
31.82	73.61	-41.79	1746.74603	6.53	73.61	-67.08	4499.17816
				100.00	73.61	26.39	696.4321

34.72	73.61	-38.89	1512.2859	59.96	73.61	-13.65	186.425263
100.00	73.61	26.39	696.4321	92.05	73.61	18.44	339.877053
2.19	73.61	-71.42	5100.65648	89.22	73.61	15.61	243.746731
70.13	73.61	-3.48	12.1290258	134.00	73.61	60.39	3646.74123
10.01	73.61	-63.60	4044.44112	120.49	73.61	46.88	2197.59326
93.68	73.61	20.07	402.768255	109.94	73.61	36.33	1320.1128
100.00	73.61	26.39	696.4321	0.29	73.61	-73.32	5375.96624
100.00	73.61	26.39	696.4321	1.94	73.61	-71.67	5136.32839
100.00	73.61	26.39	696.4321	47.97	73.61	-25.64	657.354818
100.00	73.61	26.39	696.4321	33.33	73.61	-40.28	1622.20988
127.78	73.61	54.17	2934.14815	20.21	73.61	-53.40	2851.15448
100.86	73.61	27.25	742.733984	157.14	73.61	83.53	6977.2609
97.44	73.61	23.83	567.726802	64.95	73.61	-8.66	74.980471
61.87	73.61	-11.74	137.794497	100.00	73.61	26.39	696.4321
6.80	73.61	-66.81	4463.38231	10.58	73.61	-63.03	3972.27904
100.00	73.61	26.39	696.4321	100.00	73.61	26.39	696.4321
90.21	73.61	16.60	275.56	98.50	73.61	24.89	619.752924
55.38	73.61	-18.23	332.224285	130.40	73.61	56.79	3225.23172
103.60	73.61	29.99	899.400614	76.22	73.61	2.61	6.79236297
184.89	73.61	111.28	12382.8489	66.66	73.61	-6.95	48.3545469
100.00	73.61	26.39	696.4321	9.96	73.61	-63.65	4051.25664
140.74	73.61	67.13	4506.4369	0.05	73.61	-73.56	5410.39871
100.00	73.61	26.39	696.4321	1.45	73.61	-72.16	5207.30739
164.24	73.61	90.63	8214.23632	1.16	73.61	-72.45	5248.59946
18.18	73.61	-55.43	3073.00813	38.24	73.61	-35.37	1250.89609
122.95	73.61	49.34	2434.4356	22.92	73.61	-50.69	2569.18211
23.53	73.61	-50.08	2508.06532	94.35	73.61	20.74	430.098648
100.00	73.61	26.39	696.4321	0.98	73.61	-72.63	5274.44843
22.05	73.61	-51.56	2658.16497	74.59	73.61	0.98	0.96942652
89.38	73.61	15.77	248.689238	102.50	73.61	28.89	834.595502
94.03	73.61	20.42	416.870111	10.37	73.61	-63.24	3999.4357
86.60	73.61	12.99	168.747975	5.04	73.61	-68.57	4702.14008
56.54	73.61	-17.07	291.488639	81.73	73.61	8.12	65.9562167
95.61	73.61	22.00	483.854314	98.29	73.61	24.68	609.242024
90.37	73.61	16.76	280.967912	100.00	73.61	26.39	696.4321
177.72	73.61	104.11	10839.3548	99.35	73.61	25.74	662.467393
1.00	73.61	-72.61	5272.80074	100.00	73.61	26.39	696.4321
82.79	73.61	9.18	84.2890917	41.34	73.61	-32.27	1041.45644
91.48	73.61	17.87	319.32564	24.12	73.61	-49.49	2449.43971
20.61	73.61	-53.00	2808.92718	84.71	73.61	11.10	123.191246
96.91	73.61	23.30	542.946333	14.74	73.61	-58.87	3466.24519
100.00	73.61	26.39	696.4321	1.79	73.61	-71.82	5158.22676
100.00	73.61	26.39	696.4321	95.99	73.61	22.38	501.068925

106.83	73.61	33.22	1103.89726	81.45	73.61	7.84	61.5203851
109.54	73.61	35.93	1291.13423	87.32	73.61	13.71	188.022106
100.00	73.61	26.39	696.4321	4.74	73.61	-68.87	4742.49563
5.67	73.61	-67.94	4616.32986	42.67	73.61	-30.94	957.489878
135.29	73.61	61.68	3804.19664	92.64	73.61	19.03	362.204778
120.87	73.61	47.26	2233.4665	100.19	73.61	26.58	706.623016
101.23	73.61	27.62	762.68787	100.00	73.61	26.39	696.4321
174.13	73.61	100.52	10103.8071	96.54	73.61	22.93	525.807248
96.88	73.61	23.27	541.260225	97.18	73.61	23.57	555.631621
103.80	73.61	30.19	911.4361	9496.54			
55.65	73.61	-17.96	322.56734	Cálculo de la desviación estándar			380440.803
7.58	73.61	-66.03	4360.13657	Desviación estándar			2949.15351
0.00	73.61	-73.61	5418.4321				

Tabla No. 2: Datos para la determinación de media y desviación estándar en evaluación de programas de gobierno [11].

Paso 2.- La variable dependiente se contextualiza en el ámbito de la inclusión financiera, se han considerado los casos de población joven de 18 a 29 años al final del año 2018, enfocándose en los medios de pago digitales en relación con otros aspectos medibles de inclusión financiera. Incluso posteriormente se podrían elegir distintas muestras según los objetivos del estudio. Ver Tabla No. 3.

Indicador que afecta a la variable	Información numérica de la variable	Efecto de la variable en la comprobación de hipótesis
Inclusión financiera en Medios de pagos digitales	22%	Para la determinación de la media de la distribución de los datos
Otros rubros de inclusión financiera: Acceso a una sucursal bancaria 42% Uso de cajeros automáticos 48% Uso de tarjeta de crédito 81% Acceso a corresponsales 44% Pagos con tarjeta en terminales punto de venta 71% Población que ahorra en una cuenta 20% Ahorro para el retiro 42% Población que cuenta con un seguro de vida 15%	En promedio 42.77% incluido el valor anterior	Para la determinación de la media de la distribución de los datos y en la discusión del resultado. Ver fórmula No.1

Tabla No. 3: Integración de la variable dependiente para comprobación de hipótesis [9].

Paso 3.- Resolución de la prueba de hipótesis.

Se despeja de la fórmula No. 1:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}} = \frac{42.77 - 73.61}{54.30/\sqrt{15651}} = \frac{-30.84}{54.30/\sqrt{125.10}} = \frac{-30.84}{0.4340528} = -71.05$$

Donde:

$$\bar{X} = 42.77\%$$

$$\mu = 73.61\%$$

$$S = 54.30\%$$

$$n = 15651$$

Resultados

Para interpretar el dato resultante de - 71.05, correspondiente a la Fórmula no. 1, debe comentarse que se trata de una prueba de hipótesis de dos colas que plantea los supuestos de la siguiente manera:

$$H_0: \mu = 73.61\%$$

$$H_a: \mu \neq 73.61\%$$

Considerando que, la región de rechazo (α), es de 0.05, es decir, con un intervalo de confianza de $1-\alpha$, o bien un 95%; podemos decir que la hipótesis nula se rechaza por ser en términos absolutos el resultado de la fórmula mayor al valor del nivel de significancia (α). Entonces, se acepta la hipótesis alterna que es la planteada en la línea de investigación y en esos términos, se admitiría la propuesta de la presente investigación.

Discusión

El resultado mencionado en la prueba de hipótesis, tiene supuestos identificables con la investigación realizada:

- En cuanto a los datos que se utilizaron en la variable independiente e incluir el tema de fintech en el Programa JCF, también se respaldan por las cifras o apoyan para su posible ejecución, en el uso de telefonía móvil y del internet (ambos aspectos decisivos en la implementación de la propuesta), por parte del conjunto de sujetos de estudio; además, su edad queda comprendida en el rango poblacional, de acuerdo a los datos en el Programa de gobierno. Destacando, los mayores usuarios de internet en México, sumando un 34.80% según INEGI son los jóvenes [6].
- Sobre la determinación de la media aritmética y la desviación estándar se tomaron el total de los datos que exponen la eficiencia de los programas de gobierno en México, en general, presumiendo que esos resultados se repetirían para el caso de la propuesta, con la excepción que se muestra en la Tabla1, segunda columna.
- Para evaluar las hipótesis (nula y alterna) con la totalidad de información de fuentes directas, sería necesario que el gobierno implementara la propuesta, sin embargo, al no estar a disposición tal circunstancia para el caso, se determinó que, si a partir de toda la población beneficiada por el Programa JCF, al menos se midiera al 1%, se tendrían los resultados de la Fórmula No. 1 (Paso No.3), sugiriendo que hubiera una muestra probabilística y estratificada, con una representatividad por características demográficas, por inclusión financiera y por los objetivos del mismo Programa.
- En el tratamiento de la variable dependiente respecto a la posible inclusión financiera de los jóvenes en México, se han recuperado cifras que muestran tales resultados; calculando sobre el porcentaje en el uso de medios digitales (por ser el más próximo al tema de fintech), como punto de inicio para determinar la media en la distribución de datos. Además, promediando con otros rubros de aprecio en la inclusión, añadiendo así a la prueba de hipótesis un referente de lo que se estaría buscando alcanzar como resultado de la propuesta. En el momento de disponer de información por fuentes directas, esos valores se pueden modificar o ajustar al estudio.

Conclusiones

Considerando la necesidad de capacitación financiera para los jóvenes como un objetivo del Gobierno de México, "Integrar los contenidos en materia de educación económico financiera en los planes y programas de estudio de la educación obligatoria, que establece la Ley General de Educación." (Consejo Nacional de Inclusión Financiera, 2021, pág. 44); y que además en nuestro país aún existe rezago en la inserción financiera y por ello se procura favorecerla; es posible resumir, la importancia del conocimiento de las fintech al hablar de los cambios tecnológicos donde organismos internacionales los relacionan con "crecimiento económico, le generación de empleo, la reducción de la desigualdad y una mayor sostenibilidad" [12]. La existencia de programas ya perfilados hacia un sector en específico como son los jóvenes en México, para insertar esa mejora continua, genera opciones en el aprovechamiento de los recursos ya destinados para las políticas de gobierno. Asimismo, con la información obtenida fue posible lograr el objetivo planteado de evaluar la solución al tema planteado, aplicando procedimientos estadísticos, que de inicio brindan un primer informe, validan la propuesta, por supuesto, sujeta a

ser verificada con datos primarios y acoplándose formalmente a consideración del investigador a otros posibles indicadores de cada una de las variables descritas al momento.

Referencias

- [1] Banco de Comercio Exterior. (2018). *FINTECH EN EL MUNDO. La Revolución digital de las finanzas ha llegado a México*. México: BANCOMEXT.
- [2] Fondo Monetario Internacional. (2021). El futuro digital. *Finanzas y desarrollo*, 68.
- [3] Comisión Nacional Bancaria y de Valores. (27 de 08 de 2020). *CNBV Inclusión financiera*. Obtenido de CNBV Inclusión financiera: <https://www.gob.mx/cnbv/acciones-y-programas/inclusion-financiera-25319#:~:text=Educaci%C3%B3n%20financiera%3A%20Se%20refiere%20a,decisiones%20acordes%20a%20sus%20intereses%3B>
- [4] Esteban, C. I., & Dalle-Nogare, F. (2019). Fintech e Inclusión financiera: Los casos de México, Chile y Perú. *Revista CEA*, 11-34.
- [5] Zapata, A. A., Cabrera, I. E., Hernández, A. J., & Martínez, M. J. (2016). Educación financiera entre jóvenes universitarios: Una visión general. *Administración y finanzas. ECORFAN*, 1-8.
- [6] INEGI. (22 de 06 de 2021). https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/OtrTemEcon/ENDUTIH_2020.pdf. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/OtrTemEcon/ENDUTIH_2020.pdf: <https://inegi.org.mx>
- [7] Banco de pagos internacionales. (2018). *Buenas prácticas. Implicaciones de los avances en tecnofinanzas (fintech) para los bandos y los supervisores bancarios*. Basilea: Comité de Supervisión Banca de Basilea.
- [8] Jóvenes construyendo el futuro. (2021). *Programa presupuestario S280. Jóvenes construyendo el futuro*. Cd. de México: Secretaría del Trabajo y Previsión Social.
- [9] Consejo Nacional de Inclusión Financiera. (2021). Política Nacional de Inclusión Financiera. En C. N. Financiera, *Plan de trabajo 2021-2022* (pág. 68). Ciudad de México: SHCP.
- [10] Mendenhall, W., Beaver, R. J., & Beaver, B. M. (2010). *Introducción a la Probabilidad y Estadística*. Ciudad de México: Cengage Learning Editores.
- [11] CONEVAL. (28 de 04 de 2022). *Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social*. Obtenido de Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social: https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/RDPS/Paginas/Resumen_desempeno_2019.aspx
- [12] CEPAL. (2020). Tecnologías digitales para un nuevo futuro. En CEPAL. Santiago.

Detección de necesidades para desarrollar una app que mejore el servicio de taxis en Colima

Rivas Lozano María Alejandra^{1*}, Rodríguez Guzmán Xiomara Clementina¹, Castañeda Campos Bertha Lilia¹, Chávez Larios Jorge Alejandro¹

¹Departamento Económico administrativo, Tecnológico Nacional de México/Campus Colima. Av. Tecnológico No. 1, Villa De Álvarez, Col. C.P. 28976, Colonia Liberación.

* alejandra.rivas@itcolima.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Con el paso del tiempo, el mercado se ha vuelto más exigente, lo cual eleva la dificultad para satisfacer a los clientes y destacarse entre la competencia; el sector de servicio público de taxis no es la excepción. El uso de apps ha sido una forma de innovar en dicho sector, que ha sido bien vista por los usuarios, aun cuando dicha tecnología puede no ser tan grata para los concesionarios o taxistas. Para desarrollar la app, fue necesario conocer la opinión de usuarios, taxistas, concesionarios y el organismo administrador con el objetivo de identificar los problemas principales del servicio de taxis, las expectativas que se tienen y generar una aplicación que ayude a clientes y taxistas a recibir/ brindar, un servicio más ad hoc con lo esperado. Los resultados obtenidos permitieron realizar una aplicación acorde, no sin observar que existen otros factores involucrados además de la aplicación per se.

Palabras clave: Necesidades, app, tecnología

Abstract

Over time, the market has become more demanding, making it more difficult to satisfy customers and stand out from the competition; the public cab service sector is no exception. The use of apps has been a way to innovate in this sector, which has been well received by users, even though this technology may not be so pleasant for concessionaires or cab drivers. To develop the app, it was necessary to know the opinion of users, cab drivers, concessionaires, and the administrative body to identify the main problems of the cab service, the expectations they have and generate an application that helps customers and cab drivers to receive/provide a service more in line with expectations. The results obtained made possible to develop an application in line with the needs of the taxi drivers, but not without noting that there are other factors involved in addition to the application per se.

Key words: Needs, app, technology

Introducción

Antes de la llegada de servicios privados de taxis, la gente no tenía manera de comparar si el servicio que recibía era mejor o peor, ya que simplemente no tenía otra alternativa. Al surgir nuevas opciones en el mercado para poder trasladarse a los sitios que desearan, por fin se empezó a hacer una comparación entre qué servicio preferirían usar.

El uso de apps para proporcionar servicios, cada vez se ha hecho más popular; muchas son las empresas que han incursionado en ese rubro debido a que se ha visto una gran oportunidad y la han aprovechado. Según el Informe Mobile en España y en el Mundo de Digital Marketing Trends (ditredia) 2017 en [1], "el uso de apps, ha aumentado un 111% en los últimos 3 años, siendo un 11% el crecimiento experimentado entre 2015 y 2016. De

hecho, el uso de apps representa el 60% del tiempo total de conexión, pasado por los usuarios, en el mundo digital” (pág. 36).”

Al ser las apps una tecnología disruptiva, han generado conflictos en distintos sectores, el de servicio de taxis no ha sido la excepción, puesto que permitió la apertura del servicio privado de taxis, aunado al servicio público concesionado, generando con ello una comparación en la que prevalece un conjunto de ventajas y oportunidades. Tan es así, que en la actualidad se busca brindar un servicio similar por parte de los taxis convencionales para poder seguir compitiendo en un mercado que cada día es más exigente.

El por qué hablar del uso de una app para taxis públicos no es el simplemente hacerlo para competir con las nuevas modalidades existentes, aun cuando esto puede ser interesante y hasta necesario. Así como los productos cambian de acuerdo con las necesidades del mercado, lo mismo sucede con los servicios. Usar una app ayuda a modernizarse, pero también a replantear un servicio que se encuentra obsoleto, buscando darle calidad. Según Park, Yi y Lee, 2018, en Espinoza, 2021 [2]; “la calidad de servicio es heterogénea y responde a las percepciones propias de cada individuo”. Lo importante en este punto es conocer de primera mano lo que los usuarios de taxis públicos esperan de un servicio de calidad y tratar de ajustarse lo más posible a dicho concepto.

“Una variedad de aplicaciones de teléfonos móviles (las llamadas aplicaciones de teléfonos inteligentes) se han infiltrado en todas las partes de nuestras vidas” [1].

Las características principales que debe tener una app son la adaptabilidad, sencillez en su uso, un diseño simple y todo aquello que haga que los consumidores se identifiquen con ella y quieran usarla. Klopfer y Squire, [3] distinguen la potencialidad de la tecnología móvil a través de elementos como la portabilidad, la interactividad, la inmediatez y la conectividad, áreas de oportunidad en una sociedad digital.

Todo lo anterior debe ser tomado en cuenta para el diseño de la app, pero sin olvidar a los clientes. En este caso se busca conocer su percepción sobre la inseguridad, la presentación de los choferes y de las unidades y el servicio en sí.

Metodología

De acuerdo con la Ley de Movilidad Sustentable para el Estado de Colima [4], “el servicio de taxis de pasajeros es el que se presta en automóviles o vehículos con capacidad de hasta siete personas, incluyendo al conductor, y se caracteriza por no estar sujeto a itinerarios, rutas, frecuencias, u horarios fijos, sino únicamente a las condiciones que señale la concesión respectiva; se clasifica en tres tipos: Estándar, de carga y mixto. La investigación de necesidades y requerimientos se enfoca exclusivamente en el servicio de taxi estándar, el cual compite con las aplicaciones privadas que operan actualmente.

Para identificar los problemas principales del servicio de taxis, así como las expectativas, que permitieron desarrollar la app para recibir/brindar un mejor servicio de los conductores de taxi a sus clientes, se realizaron cuatro investigaciones basadas en dos metodologías que se describen a continuación, mismas que fueron a usuarios, taxistas, concesionarios y el organismo administrador.

Con respecto a los usuarios, la técnica de investigación utilizada fue la encuesta y la herramienta de recopilación de información el cuestionario, aplicándose a una muestra de 385 personas, con un nivel de confianza del 95% y un error muestral del 5%; se usó la fórmula de proporciones para poblaciones finitas y el Alfa de Cronbach fue de 0.82.

“El coeficiente alfa de Cronbach es una fórmula general para estimar la fiabilidad de un instrumento en el que la respuesta a los ítems es dicotómica o tiene más de dos valores (Aiken, 2003; Cortina, 1993) y se utiliza cuando no es posible una segunda aplicación a un mismo grupo de sujetos o cuando la elaboración de una forma paralela del instrumento resulta costosa o difícil para el equipo de investigación.” [5]

La técnica de muestreo aplicada fue el muestreo por conglomerados bietápico, que de acuerdo con Otzen, Tamara, & Manterola, Carlos, 2017 [6], “consiste en elegir de forma aleatoria ciertos barrios o áreas dentro de una región, ciudad, comuna, etc., para luego elegir unidades más pequeñas como cuadras, calles, etc. y finalmente otras más pequeñas, como escuelas, consultorios, hogares (una vez elegido esta unidad, se aplica el

instrumento de medición a todos sus integrantes)”. Para el desarrollo de esta investigación se consideró a taxistas de las diferentes agrupaciones y a través de cada una de ellas se realizaron las encuestas, en sitio. Los resultados obtenidos fueron capturados en una base de datos en Excel y posteriormente se exportó a SPSS para su análisis en ambos programas. En el SPSS se efectuó un análisis de correlaciones, con el objetivo de identificar si existe relación e interdependencia entre los diversos ítems. En Excel, se elaboraron cruces de información por medio de filtros y tablas dinámicas para describir con mayor profundidad la forma en la que se relacionan algunas de las variables observadas. El cuestionario incluyó 9 preguntas, las cuales se dividían en: generales, cómo era el servicio actual, qué les hacía falta para poder compararse con un servicio privado y qué les gustaría que tuvieran los taxis sindicalizados.

En el caso de los taxistas, concesionarios y organismo administrador, se llevaron a cabo entrevistas a profundidad de la siguiente manera:

- Para los taxistas se aplicaron 90 entrevistas, las cuales buscaban orientar a los entrevistados a aquellos puntos que le interesaban al investigador. En este caso, lo primero encaminado a saber qué requerían los taxistas para que el servicio fuera más eficiente y el segundo, qué estaban dispuestos a realizar para que dicho servicio fuera más eficiente y seguro. El universo se conformó de 25 agrupaciones y 1,059 taxis, de los cuales 998 son taxis estándar y 61 de uso mixto.
- A los concesionarios se realizaron 50 entrevistas; las mismas tuvieron que ser programadas y con la finalidad de conocer con certeza sus puntos de vista respecto a la problemática que se vive con los taxistas y el sindicato.
- Por último, las opiniones del organismo administrador fueron obtenidas mediante dos entrevistas a los representantes del sindicato, que en su momento fueron con los que se tuvo acercamiento para conocer su interés en realizar una app según las necesidades que manifestaran los usuarios de taxis públicos. Con este último sujeto de estudio, se realizó la definición de necesidades para administrar la app.

Resultados y discusión

Al realizar el análisis de correlaciones en SPSS, se pudo observar que las relaciones entre los ítems fueron bajas y no significativas, por lo que se llegó a la conclusión que no existe afectación en el cambio de unas variables con otras.

El diseño de la app implica la realización de tres módulos interdependientes, estos módulos son la interfaz del usuario, la del taxista y la del administrador. Cada una con requerimientos específicos pero que a su vez en algún momento se ven involucradas con las otras interfaces para dar el servicio integral que se requiere.

De las cuatro investigaciones que fueron aplicadas para detectar las necesidades en cuanto al diseño-operación de la app de mejora del servicio de taxis, a continuación, se muestran los resultados obtenidos:

Usuarios

En la Figura 1 se pueden observar los resultados de la pregunta sobre cómo debería ser una aplicación para taxis públicos que quisieran usar: El 81.3% responde que sea fácil de usar, mientras que el poder conocer el nombre del operador y el número del taxi es lo que solicita el 69.2% de los usuarios de taxi. Con un 65.4% poder ver la imagen del operador; compartir la ruta de traslado es la respuesta del 59.8%. Que cuente con botón de pánico lo considera el 57.9% y que cuente con diversas formas de pago es importante para un 54.2%. El 51.4% considera relevante que no tenga costo. Solo un 0.9% cree que poder calificar a los choferes es algo relevante.

Para usar una aplicación de taxis públicos, ¿cómo debería ser?

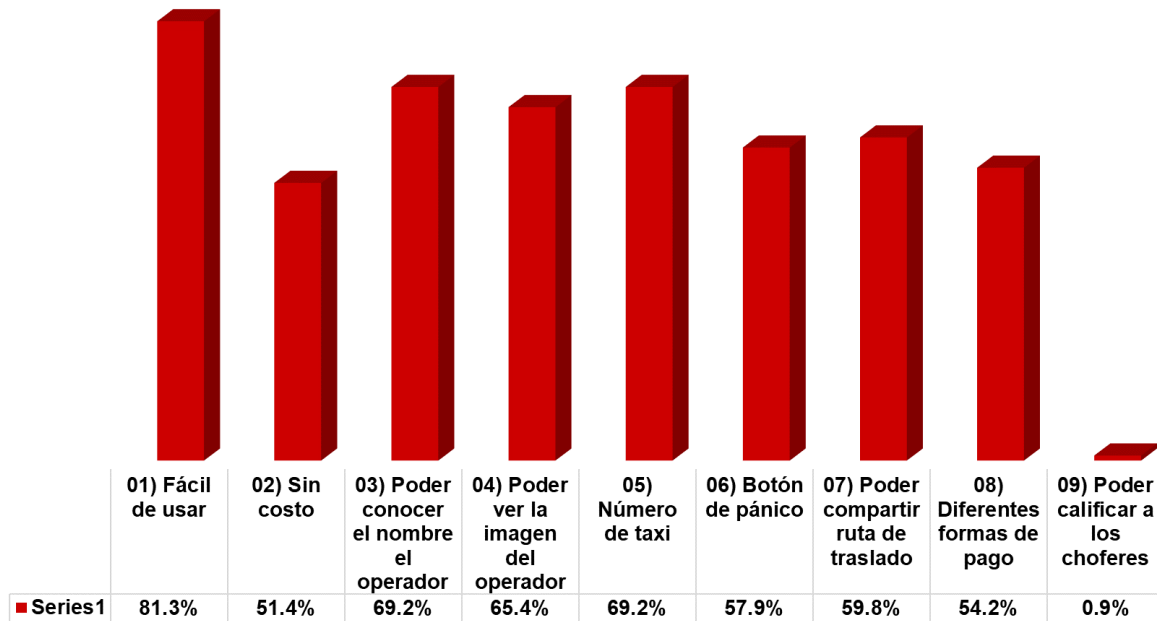


Figura 1. ¿Cómo debería ser una aplicación para taxis públicos?
 Diseño propio con información de la investigación realizada a usuarios.

Taxistas

En la Figura 2. se pueden observar las necesidades que los taxistas dicen tener para sentirse cómodos usando la app.

Qué requieren los taxistas para usar una app

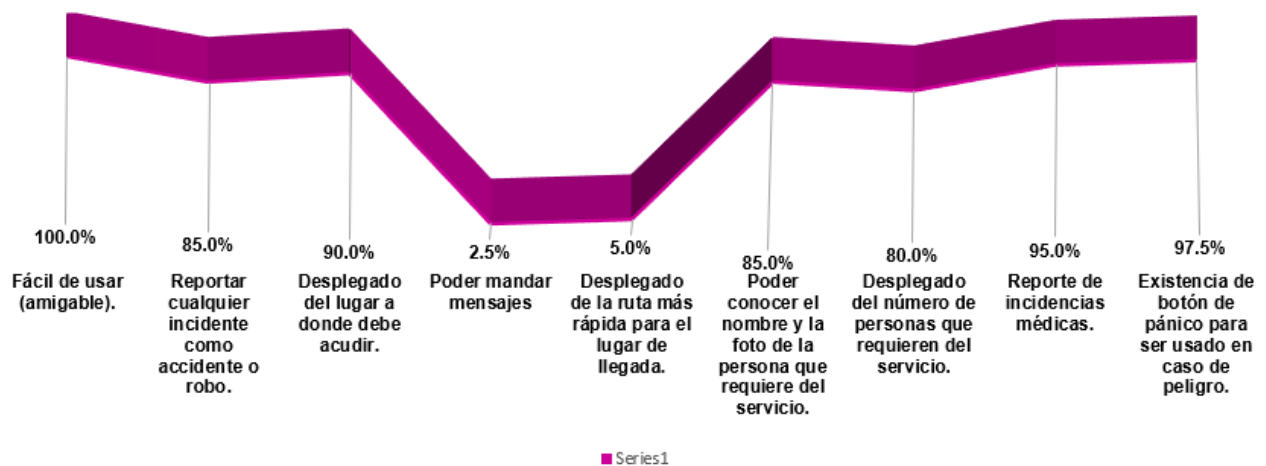


Figura 2. Requerimientos de taxistas para el uso de la app.
 Diseño propio con información de la investigación realizada a taxistas.

Concesionarios

Los concesionarios más que tener requerimientos para la app, los tienen con respecto a permisos para alimentar el administrador de la app y con ello obtener reportes que deberían serles proporcionados con la información que maneje el organismo administrador.

Requieren:

- Subir documentos digitalizados del auto y documentos que validen tener la documentación en regla.
- Subir documentos de autorización de la concesión.
- Subir documentos del seguro del auto vigente y de pasajeros (si los tienen).
- Subir documentos de propiedad del auto, en caso de revisión y verificación de la unidad por la autoridad.
- Permitir la actualización de permisos.
- Registro de la fecha de mantenimiento realizado y recordatorio de fecha próxima de mantenimiento preventivo que asegure mantener en buenas condiciones mecánicas la unidad.
- Acceso al reporte de taxistas asignados a su unidad.
- Reportes de pago semanales por unidad y por chofer.
- Reporte de retención de ISR por chofer por el uso de la aplicación de acuerdo con el SAT (prestación de servicios por el uso de aplicaciones móviles).

Organismo Administrador

Sobre las necesidades específicas que se tienen para poder manejar el sistema administrativo son las siguientes:

• Información por parte del usuario:

- Registro a la app
 - Nombre
 - Sexo
 - edad
 - Dirección
 - Fotografía

• Reportes de Concesionarios;

- Nombre,
- Dirección,
- Número de unidades con las que cuenta,
- Generalidades de sus unidades

Con respecto a sus trabajadores	Con respecto a sus unidades de trabajo
<ul style="list-style-type: none">• Los choferes cuentan o no con contrato para manejar la(s) unidad(es)• Se encuentran dados de alta en el IMSS• Han tenido problemas y el tipo de problemas que ha tenido con el (ellos)• Factibilidad de proporcionar a los choferes teléfono para cumplir su labor	<ul style="list-style-type: none">• Cuentan con seguro de daños a terceros• Número de permiso• Tipo de concesión• Año del o (los) vehículo(s)• Se encuentra al corriente en sus pagos• Le da mantenimiento mecánico a la(s) unidad (es) y cada cuánto• Le da mantenimiento estético

- Tipo de problemas que ha tenido con las unidades)

- Reporte de taxistas;

- Nombre completo
- Sexo
- Edad
- Dirección
- CURP
- Licencia
- Número de contacto
- Días en que se encuentra contratado para el manejo del taxi, o días en los que maneja el taxi.
- Horario en el que da el servicio.
- Nombre y teléfono de uno o dos contactos.
- Historial personal (antecedentes no penales).
- Tiempo que tiene siendo chofer de taxi
- Si la unidad es propia o la trabaja
- Cuenta con seguro y por medio de quien lo tiene
- Tiene prestaciones de ley
- Cómo está contratado
- Ha tenido otros patrones en el servicio de taxis
- Cómo le pagan
- Disposición personal a poner su celular para trabajar
- ¿Tiene la unidad en buenas condiciones?
- Reporta algún tipo de falla en cuánto ésta ocurre
- ¿Reporta si está enfermo?
- Ha tenido problemas con otros patrones y porqué
- Reporta cuándo no va a asistir con tiempo o no
- Ha recibido reportes y de qué tipo.

El problema mayor que ven el organismo administrador es el que no todos los concesionarios podrían querer manejar la app por los cambios tan fuertes que esto implica y a lo que dicen no pueden obligar a nadie a realizarlos.

Trabajo a futuro

La intención de la presente investigación era conocer las necesidades de los usuarios de taxis, así como de los choferes de estos para desarrollar una app que les ayudara a obtener/dar un mejor servicio y haciendo al mismo más competitivo. Sin embargo, al ir profundizando en las entrevistas a los agentes internos, nos dimos cuenta de que el problema no es solo el de darles una app que los pueda ayudar, el problema es mayor a eso, son intereses de cada una de las partes que no permiten actuar a favor de la sociedad.

Es necesario investigar con mayor detalle a todos aquellos involucrados en el otorgamiento de un servicio público de taxis, esto es, Secretarías (Gobierno), sindicatos, concesionarios y taxistas para de acuerdo con lo que se obtenga generar estrategias que abonen a resolver conflictos de interés y se pueda actuar para el beneficio de la sociedad.

Conclusiones

Cuando hablamos de buscar soluciones a ciertos problemas específicos que se ven en la sociedad, siempre tratamos de que éstas sean prontas, que generen el mayor bien posible y que sean de provecho para los involucrados.

En este caso, se observó el problema que se tiene con la inseguridad en todos sentidos. En este punto es de recalcar lo que dicen las mujeres al sentirse todavía más agredidas por su género.

Ellas han externado su constante malestar al abordar taxis, en donde el temor y la inseguridad de llegar a su destino es una constante, aunado al hecho de la inseguridad que se vive en México como tal, por delitos que se cometen a plena luz del día [7].

La app es un punto de apoyo para poder otorgar un servicio de mejor calidad, facilitar la administración del mismo, accesible a todos y donde se pueden cubrir puntos importantes tanto para el usuario como para el taxista y el concesionario.

Dar capacitación a los trabajadores junto con el responsable de la app es otro punto a tomar en cuenta debido a que ese tiempo deberá ser pagado por el concesionario y no es un tiempo en el que trabajen manejando. Esto se puede lograr pidiendo apoyos a la Secretaría de Movilidad o a la Secretaría del Trabajo, por ejemplo.

Por otro lado, es importante conseguir acuerdos con Vialidad y la Policía Municipal para que acudan si un botón de pánico es accionado, ya sea por el usuario o el taxista.

El punto central y más importante es lograr que todos los actores se den cuenta que solo trabajando en equipo y buscando una mejora en el servicio podrán ser competitivos y permanecer en el mercado. Los usuarios cada día son más exigentes y saben que su dinero vale. Si los taxis públicos no son capaces de mejorar cuentan con otras opciones, y si bien, el precio es mayor, están dispuestos a pagar aun cuando esto implique que pueden usarlo algunos días y otros no, pero a la larga, serán personas que cambiarán el servicio sin dudar.

Agradecimientos

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por su valiosa contribución para el desarrollo de la presente investigación, lo mismo que al TecNM Campus Colima, por el apoyo brindado.

Referencias

- [1] C. Preciado Ortíz, M. Hernández-Preciado, L. Hernández-Reyes y A. Medina-Aguayo, «ADOPCIÓN DE APPS MÓVILES PARA EL SERVICIO DE TAXI EN MÉXICO,» *Mercados y Negocios*, vol. 1, n° 39, pp. 104-118, 2019.
- [2] J. R. I. Espinoza, «LA CALIDAD DE SERVICIO EN LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA,» *Revista Científica Horizonte Empresarial*, pp. 425-437, 2021.
- [3] E. Klopfer y K. Squire, «Environment Detectives: the development of an augmented reality platform for environmental simulations.,» *Educational Technology Research and Development*, pp. 56(2), 203-228, 2008.
- [4] S. d. Movilidad, «Ley de movilidad sustentable para el Estado de Colima",» 30 Enero 2017. [En línea]. Available: http://admiweb.col.gob.mx/archivos_prensa/banco_img/file_58920eeb65f98_Ley_de_Movilidad_Sustentable_para_el_Estado_de_Colima_300117.pdf.
- [5] J. Rodríguez-Rodríguez y M. Reguant-Álvarez, «Dialnet,» 01 07 2020. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7672166>.
- [6] T. Otzen y C. Manterola, «Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio,» *International Journal of Morphology*, vol. 1, n° 35, pp. 227-232, 2017.
- [7] L. Villegas, «Una pesadilla para las mujeres abordar un taxi,» 16 09 2017. [En línea]. Available: <https://www.debate.com.mx/prevenir/Una-pesadilla-para-las-mujeres-abordar-un-taxi--20170916-0386.html>.

Postcovid-19 vs Finanzas en los Micronegocios, una realidad del comercio informal

Héctor Enrique Escobar Olguín, Cinthia Valeria Jordán Lara², Efraín Flores Calvillo³

Área de participación: Administrativa

Resumen

La investigación actual se desarrolló en opinión de los dueños de los pequeños negocios de San Pedro de las Colonias y el Ejido Santo Niño. El total de establecimientos encuestados fue de 100. El objetivo, es dar a conocer los efectos que la pandemia del Covid-19 ocasionó en sus finanzas. Se emplea una metodología cualitativo-descriptivo. Se diseña un instrumento para la recogida de datos, se emplea la escala de Likert y se obtiene de 0.70 de alfa de Cronbach. De los resultados obtenidos señalan afectación en sus ventas; existió la posibilidad de recurrir a un préstamo, sin embargo, no se concretó por la situación económica; el cierre de negocios se manifestó en casos extremos; la posibilidad de cambiar de giro se hizo presente; los perecederos mostraron problemas por la disminución en ventas; finalmente, la ayuda moral por parte de la familia fue un factor importante para no desistir.

Palabras clave: Finanzas, micronegocios, riesgo

Abstrac

The current investigation was developed in the opinion of the owners of small businesses in San Pedro de las Colonias and Ejido Santo Niño. The total number of establishments surveyed was 100. The objective is to publicize the effects that the Covid-19 pandemic caused on their finances. A qualitative-descriptive methodology is used. An instrument for data collection is designed, the Likert scale is used and Cronbach's alpha 0.70 is obtained. From the results obtained, they indicate an impact on their sales; there was the possibility of resorting to a loan, however, it did not materialize due to the economic situation; the closure of businesses manifested itself in extreme cases; the possibility of changing direction became present; perishables showed problems due to the decrease in sales; Finally, the moral support from the family was an important factor in not giving up.

Keywords: finance, microbusinesses, risk.

Introducción

La presente información es un reporte de caso, a partir de estrategias realizadas con anterioridad. Una serie de preguntas formuladas ayudaron a recoger información valiosa. Los cuestionamientos se direccionaron a los dueños de los micronegocios de la ciudad de San Pedro de las Colonias y el ejido Santo Niño. Diferentes opiniones fueron vertidas por los encuestados, que sin lugar a dudas mostraron importantes aspectos asociados con el problema de las finanzas a causa de los efectos del Covid-19.

En las diferentes comunidades donde se llevó a cabo esta investigación, refleja los resultados que se obtuvieron en los pequeños negocios, algunos ya no son existentes y otros que se mantienen aun en el mercado después de una crisis financiera. Según, Vasconcelos & Marcos, (2020) menciona que la recuperación del crecimiento económico será más difícil debido al escenario de menor comercio, han obligado a los propietarios a cumplir y adaptarse con las restricciones sanitarias. Cabe mencionar que todas aquellas actividades económicas que dependen de aproximación social sufren tras volver a su nivel anterior antes de la pandemia.

La mayor parte de los propietarios sufrió pérdidas grandes, algunos optaron por cambiar de giro, otros recurrieron a un préstamo para salvar su negocio y así sucesivamente se vivió durante el año que dejó marcada a toda la población. Se fue descubriendo estos datos mediante una encuesta aplicada a todos los micronegocios que nos rodean en los lugares ya mencionados. La ausencia de los clientes se presentó a poco tiempo de que se diera a conocer todos los riesgos de salud que se presentaban al tener contacto con otras personas que llegaran a estar infectadas, se presentó el confinamiento para evitar propagar el virus.

La mayoría de las personas dejaron de trabajar y no había circulación de dinero, los negocios dejaron de ser frecuentados y otros factores influyentes. Como menciona Sánchez Castañeda & Hernández Ramírez, (2020) la pandemia, a lo largo de la historia han creado desempleo a partir de la incertidumbre y desaceleración económica. El caso actual de México no es la excepción. Dado dos elementos que caracterizan su mercado de trabajo. Por un lado, la mayoría de sus empresas son pequeñas y, por otro lado, existe una alta tasa de informalidad laboral. En el país, el 95.4% de las empresas son microempresas y el 3.6% son pequeñas empresas.

Actualmente los trabajadores, han disminuido sus ingresos a causa de la baja en su demanda por el distanciamiento social y los efectos de la caída de las bolsas mundiales. Según, Centioni, (2020) señala que, debido a la cuarentena preventiva, muchas personas no están percibiendo ningún tipo de ingreso monetario debido a que son comerciantes no esenciales, o empleados por día, o tienen empleo no blanqueado, etc., o son jubilados con jubilaciones mínimas, y tampoco reciben ningún tipo de ayuda económica - social.

La Pandemia del COVID 19, y la obligatoriedad del aislamiento preventivo y social, si bien tiene la intención de prevenir la propagación de la enfermedad, causo una revolución internacional en todos sus niveles: económico, social, de salud, y afectivo y familiar. Se hizo un estudio de las problemáticas que se presentaron por el coronavirus, se determinó que los clientes son el factor importante para que el negocio se mantenga al margen, debido a la pandemia combatió la economía del país.

En la comunidad de San Pedro y el ejido Santo Niño, muchas personas perdieron su empleo, por lo que eso también se vio reflejado en la economía de los micronegocios de las tres colonias de San Pedro las que se estudiaron y como menciona Vasconcelos, (2020) en países, como los de América del Sur, en los que las relaciones económicas, especialmente las de trabajo, a menudo carecen de una red de seguridad social, la interrupción de varias actividades implica la pérdida inmediata de empleos e ingresos.

Según Esquivel, (2021) menciona que la pandemia sobre la actividad económica en México ha sido muy significativa la magnitud y características de dicho impacto pueden identificarse en tres fases o etapas distintas, como resultado de la decisión de suspender todas aquellas actividades consideradas como no esenciales ("Jornada nacional de sana distancia"). Esta decisión inevitablemente afectó a varios sectores manufactureros y de servicios que debieron cerrar temporalmente para garantizar el distanciamiento social.

Como en las preguntas aplicadas a los propietarios de los micronegocios en las colonias San Isidro, Lázaro Cárdenas y Emiliano Zapata, en San Pedro y en el Ejido Santo Niño municipio de Francisco I. Madero, tuvieron que cerrar su negocio.

A los propietarios de los micronegocios, se les realizó una pregunta la que da como resultado si en la actualidad su economía se ha restablecido en su negocio, por lo que menciona León Sánchez, (2019) que actualmente nos encontramos en un contexto evolutivo a nivel socioeconómico y tecnológico, por lo que el uso de la gestión empresarial se vuelve una necesidad imperante, hablando en términos de sustentabilidad para el emprendimiento, esto se vio reflejado recientemente con la pandemia que asola a nuestro país y que obligó a muchas empresas a buscar un método de innovación para conseguir un estado óptimo que les permitiera continuar en existencia en dicho entorno complejo.

En el estudio realizado, varios propietarios mencionaron que cambiar de giro no fue una opción, pero respecto a Montiel Méndez & Flores Novelo, (2020) la crisis sanitaria ocasionada por la pandemia del COVID-19, transformó la vida en todos los ámbitos, la visión incidió en su decisión de emprender un negocio en una situación tan adversa, y la revisión de la literatura mostró que comparten motivaciones, retos y limitaciones de otros emprendedores en el mundo enfrentando la pandemia.

Para los microempresarios, sus negocios lo es todo, por lo que la pandemia fue un suceso que poco a poco se ha estado superando, como mencionan Serna Gómez & Barrera Escobar, (2019) que el sistema existe dos grandes jugadores: los hogares y las empresas. Los dos, desde el paradigma sistémico, son golpeados por la contracción económica anómala del COVID-19, que en la lógica del flujo circular producen un efecto espiral de reducción. Las empresas, siendo objeto de una obligada disminución en sus operaciones, entran en un proceso que podríamos denominar "ajuste de caja", debido a que se encuentran operando a menos del 70%, 80%, 90% o más de su capacidad, y su sostenimiento financiero depende de la capacidad financiera previa, llevando su perdurabilidad a cuestión de tiempo.

Para la población, esta emergencia sanitaria fue muy difícil y aún más para los microempresarios de la comunidad, por lo que menciona Keen & Steven, (2020) que los economistas no pueden eludir la responsabilidad por el hecho de que la producción esté fuertemente globalizada, por el apoyo de los economistas al libre comercio frente a la autosuficiencia, como por su apoyo a la relocalización de la producción, de Occidente al Tercer Mundo.

A pesar de que los propietarios de micronegocios tuvieron que tomar medidas de seguridad tanto para ellos como para sus clientes, es verdad que tener cuarentena disminuyó sus ventas y como mencionan Chavarría-Chávez, González, & Sara, (2020) durante la pandemia provocada por el coronavirus, los cuerpos han sido relegados a un encierro domiciliario que nos ha privado de ese contacto y de la comunicación directa. Para todos los propietarios, el apoyo moral de su familia fue uno de los factores que les ayudó a que la situación no fuera más difícil, según Román (2011), menciona que en esta lógica se considera oportuno tener en cuenta tanto la viabilidad como las formas de organización económica de los pequeños establecimientos, en el entendido que pueden constituir dos dimensiones que hagan referencia a la heterogeneidad en estos espacios laborales. En relación con la forma de definición o acercamiento a la forma de entender la familia.

Como se menciona en la pregunta número doce, los propietarios siempre consideran esencial el apoyo de sus familias, como mencionan los autores Conejo, Chavarría, Chávez, & León González, (2020) señalan que las familias, en tanto unidad social básica, constituyen lo que se ha llamado burbuja en términos epidemiológicos y que configura el espacio vincular primario en el que a las personas se les ha solicitado confinarse para hacer frente a la pandemia. Por lo tanto, es en las familias donde se experimentan los efectos de la pandemia, más que a un nivel meramente individual.

Para los microempresarios, el cambiar de giro en sus negocios ya establecidos, no fue una opción considerable, puesto que en su respectiva colonia se sentían cómodos o por alguna otra razón, no fue necesario lo que menciona el autor Elías, (2021) que el comportamiento de los consumidores a causa del cierre de las tiendas físicas y todas las medidas sanitarias impuestas por el gobierno federal ha presentado cambios en la compra y venta de productos, y de bienes y servicios. Por ende, se ha manifestado un crecimiento acelerado de comercio electrónico en algunas ramas y sectores económicos del país.

La comunidad de microempresarios de San Pedro y el Ejido Santo Niño, hacer un cierre total o parcial de sus locales no fue realmente una opción que se tomó, como lo mencionan Lagunas, Rodríguez, & Ramírez, (2020) las personas emprendedoras son aquellas que constantemente están buscando oportunidades y cuentan con un carisma especial para encontrar las relaciones sociales (contactos o enlaces) que dependen o se desencadenan de su negocio; tal es el caso de la búsqueda o lealtad de sus clientes y proveedores.

Como mencionan Corichi, Valencia & Martínez, (2021) el adaptarse a la nueva normalidad mediante el uso de implementos como el cubrebocas, exigido tanto a sus empleados como a sus clientes con el fin de seguir siendo productivos al tiempo de preservar su salud. La mayoría de los propietarios si tomaron en cuenta las medidas necesarias, pero sin embargo muchos de los clientes no la tomaban. A pesar de que la pandemia golpeo mucho las finanzas de los microempresarios, estos no tomaron la decisión de endeudarse con un crédito, a pesar de lo que mencionan los autores Corichi, Valencia, & Martínez, (2021) que la gestión adecuada de apoyo económico y los créditos pueden significar la sobrevivencia de las microempresas y preservación de empleos, sobre todo, entre la comunidad más.

Según Corichi, Valencia, & Martínez, (2021) es más tardado atender a las personas por el uso de gel, los tapetes sanitizantes, desinfección del dinero y la limpieza más profunda, esa fue la razón por lo que los clientes no tomaban esas medidas, o sea que querían hacer más fácil y rápidas sus compras, también muchos de los propietarios no tomaban las medidas necesarias. Fueron muy pocos los propietarios los que, si tomaron una decisión difícil, la de cerrar su negocio, por eso es que sus finanzas bajaron y poco a poco se están restableciendo, menciona Durán, (2020) que a partir de la pandemia generada por el COVID-19, con sus estrepitosas consecuencias económicas, ha generado una problemática financiera que ha llevado a muchos negocios a cerrar o, en el mejor de los casos, a replantearse su estructura.

Muchos de los propietarios tuvieron problemas con sus productos preceberos, eso ocasionando una baja en sus finanzas y como menciona Durán, (2020) el comercio durante la contingencia generada por el COVID-19 se ha visto afectada por la reducción de la demanda, los incrementos de sus deudas y los cierres de las aperturas de apoyo financiero para poder enfrentarlas.

En la comunidad de San Pedro y el ejido Santo Niño, muchas personas perdieron su empleo, por lo que eso también se vio reflejado en la economía de los micronegocios de las tres colonias de San Pedro las que se estudiaron y como menciona Vasconcelos, (2020) en países, como los de América del Sur, en los que las relaciones económicas, especialmente las de trabajo, a menudo carecen de una red de seguridad social, la interrupción de varias actividades implica la pérdida inmediata de empleos e ingresos.

Para los microempresarios de la comunidad, fue difícil hacer frente a la pandemia, llevar a cabo un plan por los diferentes factores negativos económicamente a los que se pudieron enfrentar, y como mencionan los autores Paredes, Carrillo, & Ibarra, (2022) que las MiPymes necesitan planear estratégicamente para hacer frente a las inclemencias del COVID-19 y, así, probablemente eviten más pérdidas y logren sobrevivir. Además, como con cualquier otra crisis, las empresas pueden aprender de la experiencia derivada de la propia contingencia y utilizarla para planificar y prepararse para mitigar situaciones inesperadas similares cuando éstas se presenten.

Metodología

El presente estudio es una investigación de tipo cualitativa-cuantitativa, donde se estudiaron los posibles efectos de la post pandemia del Covid-19, en los micronegocios en tres colonias diferentes de la Ciudad de San Pedro, en la colonia San Isidro, Lázaro Cárdenas y Emiliano Zapata y en el Ejido Santo Niño municipio de Francisco I. Madero, para reunir la información, en esta investigación de campo, se llevó a cabo un total de doce preguntas a los propietarios de microempresas de la comunidad. Se partió de una técnica cualitativa, que describe los efectos financieros negativos a los que se enfrentaron los propietarios en sus negocios, los resultados obtenidos de las preguntas se vaciaron a un archivo de Excel, donde se buscaba el alfa de Cronbach mayor al 0.70, que es el indicador de que el cuestionario fue contestado por los microempresarios. Después se utilizó el programa estadístico SPSS y se obtuvieron las tablas y las gráficas que ayudaron a interpretar la relación de las respuestas. Se descubrieron aspectos relacionados con los efectos de la pandemia del Covid-19 en los negocios y las decisiones que los propietarios vieron necesarias tomar respecto a las finanzas de sus locales. En el presente estudio, se consideró a 75 propietarios de micronegocios en la ciudad de San Pedro específicamente en tres colonias diferentes y de distintos sectores, en la colonia San Isidro 25 propietarios, en la Lázaro Cárdenas igual 25 propietarios y Emiliano Zapata otros 25 microempresarios, de igual forma 25 más, en el Ejido Santo Niño, el total de encuestados fue de 100 propietarios de microempresas.

Resultados

Los efectos ocasionados por la pandemia al día de hoy han sido de consideración para gran parte de la humanidad. Sin lugar a dudas, los negocios pequeños e informales dieron catedra de tenacidad y perseverancia. Aunque sus finanzas arrojaran números no muy alentadores. Los siguientes gráficos son muestra de lo anterior. Cien propietarios pequeños comerciantes pertenecientes a la informalidad señalaron que el 23% no verse afectados en sus finanzas contra un 65% que si lo resintió. Solo una pequeña minoría del 12% no emitió respuesta a favor ni en contra.

Tabla 1. Muestra las opiniones sobre la afectación en los negocios a raíz de la pandemia.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	10	10.0	10.0	10.0
	2	13	13.0	13.0	23.0
	3	12	12.0	12.0	35.0
	4	25	25.0	25.0	60.0
	5	40	40.0	40.0	100.0
	Total	100	100.0	100.0	

La figura 1, señala que, ante la pandemia, afectó las finanzas de los pequeños negocios informales. Existe una distribución en cada una de las respuestas. La emisión de la respuesta estuvo en función de la situación actual de cada entrevistado. Con un 25% los encuestados manifestaron que casi siempre y con un rotundo 40% que siempre se vieron afectado su negocio; solo un 12% se mostró neutro. Por su parte, Esquivel (2021), señala que interrumpir varias actividades económicas ha tenido serios efectos incluso en las actividades consideradas esenciales, de tal suerte que la crisis de salud ha estado de la mano de una hecatombe económica.

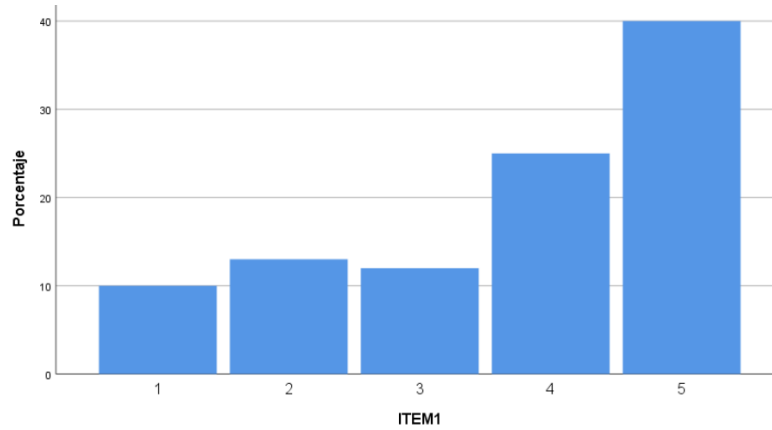


Figura 1. ¿A consecuencia de la pandemia se ha visto afectado en su negocio, ocasionando un desbalance en sus finanzas?

Tabla 2. Muestra las opiniones vertidas en relación al posible cierre del negocio.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	30	30.0	30.0	30.0
	2	16	16.0	16.0	46.0
	3	31	31.0	31.0	77.0
	4	12	12.0	12.0	89.0
	5	11	11.0	11.0	100.0
	Total	100	100.0	100.0	

Generalizando las opiniones vertidas, el 46% argumenta no haberse sentido identificado con el cierre del negocio; el 31% se mostró neutral y solo un 23% visualizaron la posibilidad de cerrar. La posibilidad de que el gobierno municipal o estatal emitieran algún programa de apoyo al comercio informal no es algo que se vislumbre en corto tiempo. Noelia (2020), señala que la crisis sanitaria ha hecho que los gobiernos tomen medidas al respecto, con reducción de la movilidad de individuos y etapas de confinamientos. Derivado de ello, se ha paralizado la actividad económica de numerosos sectores e industrias, así como el empleo de miles de individuos, bien por cese definitivo o cese temporal.

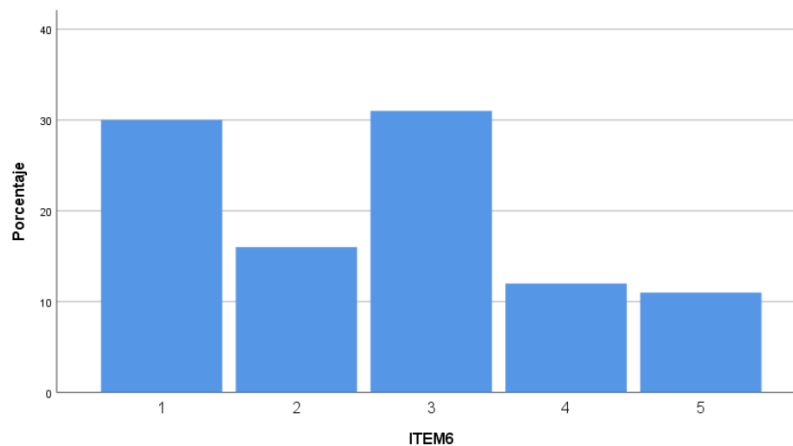


Figura 2. ¿A consecuencia de la pandemia se ha visto afectado en su negocio, ocasionando un desbalance en sus finanzas?

Resultados y Conclusión

El estudio permitió corroborar en un universo de 100 pequeños negocios informales, ubicados en la ciudad de San Pedro de las Colonias y el Ejido Santo Niño, que las finanzas sufrieron algún cambio dependiendo de su contexto, su giro, los horario de atención, entre otros. Además, se encontraron los siguientes hallazgos:

- El 65% de los encuestados señala que la pandemia ocasionó un problema en sus finanzas. Debido a la situación económica que atraviesan las familias y su escaso poder adquisitivo.
- Posterior a la pandemia las ganancias han mostrado un 74% de afectación. A pesar de que lo más crítico ha pasado, existen estragos en los consumidores.
- Por su parte, el 51% menciona que en la actualidad la economía tanto al interior como en los consumidores no se ha restablecido del todo.
- La posibilidad de un préstamo se visualizó solo en un 21%, las fortaleza económica interna de los negocios contribuyó a no recurrir a él.
- Posterior a la etapa más complicada de la pandemia, los negocios bajaron la guardia en relación con las medidas de protección, es decir, solo un 47% las mantuvieron.
- Con un 46%, se pensó cerrar el negocio. El argumento de desistir es por ser la única fuente de ingreso familiar.
- Quizás lo único que las personas han dejado de hacer es continuar con los protocolos sanitarios. La presencia de vacunas y el poco bombardeo de información y publicidad sobre el tema son el resultado de ello, es decir, 40%.
- Cambiar de giro no fue opción, al menos de la mayoría (70%). Los negocios informales por su naturaleza no poseen la capacidad económica para incursionar en otro giro.
- De la diversidad de productos y mercancías ofrecidas, el 39% señalaron que los perecederos no lograban su venta antes de su proceso de oxidación.
- Finalmente, el apoyo familiar fue un bastión importante para no desistir con el negocio, esto lo representó el 68%.

Referencias.

- Alfredo Sanches Castañeda, José Pablo Hernández Ramírez. (2020). La respuesta del gobierno ante el COVID-19. Cielo Laboral, 20.
- Centioni, R. (2020). Ensayo sobre el impacto de la pandemia de COVID 19 en las familias argentinas. Revista de Investigación del Departamento de, 13.
- Centioni, R. (2020). Impacto de la pandemia de COVID 19 en las familias. Investigación del Departamento de, 6-7.
- Cobos, P., Peters, C., Guzmán, T., & Victoria. (2021). La crisis COVID en el sector cultural chileno: estrategias. Estudios Sociales, 3-5.
- Conejo, L. D., Chavarría, Chávez, P., & León González, S. (2020). Las familias y la pandemia de la COVID-19. Revista Electrónica Educare, 4.
- Corichi García, A., Valencia Sandoval, K., & Martínez García, M. D. (2021). Percepción de los efectos de la pandemia y resiliencia de los microempresarios hidalguenses. Vinculatégica, 196-206.
- Durán Acosta, M. G. (2020). El impacto de la crisis sanitaria generada por COVID-19 en las finanzas de las pequeñas y medianas empresas (Pymes) de Hermosillo, Sonora. Investigación académica sin frontera, 1-21.
- Elías, A. L. (2021). Determinantes del gasto en e-commerce debido a la COVID-19: Paradigma económico. Revista de economía regional y, 6. Esquivel., G. (2021). Los impactos económicos de la pandemia en México. Revista nexos en línea, 18.
- Serna & Barrera (2019). Efectos en el empleo en las micro y pequeñas generados por el COVID-19. Red Ormet, 50.
- Keen, & Steven. (2020). El coronavirus expone brutalmente las falacias de la economía neoclásica y la globalización*. Economía Institucional, 23-24.

- Lagunas, E. A., Rodríguez, J. O., & Ramírez, D. M. (2020). Factores que influyen en el emprendimiento de un micronegocio familiar en México. *Determinants of Family Entrepreneurship in Small Businesses in México*, 5.
- León Sánchez, Jimena Ramírez. (2019). Impacto de la contingencia del COVID-19. *Verano de la ciencia*, 54.
- Oscar Javier Montiel Méndez, Anel Flores Novelo. (2020). Emprendedores bajo el COVID-19. *Estudios interdisciplinarios.*, 39.
- Paredes Zempual, D., Carrillo Cisneros, E., & Ibarra Morales, L. E. (2022). Impacto del COVID-19 en las variables que determinan la competitividad de las micro, pequeñas y medianas empresas mexicanas. *Relayn*, 7-22.
- Román, P. R. (2011). Análisis del papel de la familia en la supervivencia de los micronegocios en la familia. *Nueva antropología*, 3.
- Triana Arias, C. (2021). Una mirada sobre los ingresos de los micronegocios y su repercusión en materia fiscal durante la pandemia Covid-19 año 2020 en la ciudad de Bogotá. Una mirada sobre los ingresos de los micronegocios y su repercusión en materia fiscal durante la pandemia Covid-19 año 2020 en la ciudad de Bogotá. Bogotá, Colombia.
- Vasconcelos, & Marcos. (2020). Las consecuencias económicas del coronavirus . *Estudios económicos* , 4-7.
- Vasconcelos, M. (2020). Las consecuencias económicas del coronavirus . *Estudios económicos*, 131-138

Plan de capacitación para el fortalecimiento de competencias en personal de una microempresa giro comercial

A. López Barrales¹

¹Ingeniería en Gestión Empresarial, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II s/n, Predio,

Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla, México

anai.lb@teziutlan.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

La competitividad de cada empresa debe estar fundamentada en las habilidades que presentan los empleados y es necesario fortalecer y desarrollar al personal para la mejora continua de la organización, es por eso, que este trabajo está basado en el análisis de detección de necesidades de capacitación de una empresa local de giro comercial, donde se recolectó información mediante un diagnóstico, con la finalidad de entender de manera real la situación en la que se encuentra el personal. Posteriormente, se determinaron los requerimientos y estrategias para desarrollar un programa adecuado de capacitación específicamente para la organización. En el programa de capacitación se incluyeron competencias laborales a desarrollar, identificación de las operaciones en los diversos procedimientos, y metodologías a utilizar para una mayor asimilación de conocimientos del personal. Este trabajo ha sido el resultado del asesoramiento de un proyecto de residencia profesional, elaborado por un estudiante de Ingeniería en Gestión Empresarial.

Palabras clave: (Competencias laborales, diagnóstico de necesidades, capacitación, programa.)

Abstract

Very enterprise competitively has to be based on employees' abilities and it is necessary to train the staff in order improve and update the organization. Therefore, this project is based on the analysis of training needs of a local, commercial enterprise in which information was collected by assessments in order to understand the real situation in which the employees work. Eventually, strategies and requirements were defined in order to develop a suitable training programme specifically for the enterprise. In it, professional competences were included to develop, several procedures operation identification as well as useful methods to get a better staff knowledge comprehension. This project is the result of the assessment for a professional internship made by a Business Management undergraduate.

Key words: (professional competences, training needs, training, program)

Introducción

Los lineamientos para la operación y acreditación de residencia profesional que se aplican en Institutos, Unidades y Centros adscritos al TecNM, establecen normativa y actividades que tienen la misión de generar conocimiento teórico- práctico, la residencia profesional es una herramienta que es parte de la retícula e invita al estudiante a resolver problemáticas presentes en el entorno de carácter social que además de ofrecer una solución empresarial, ponga en práctica los conocimientos adquiridos en la formación profesional. Este trabajo es la muestra de uno de esos proyectos con carácter profesional y resolutivo, enfocado al área de personal, específicamente, dirigida al tema de capacitación. Este proyecto se llevó a cabo en una empresa de giro comercial, ubicada en el municipio de Jalacingo, Veracruz, la cual cuenta con dos sucursales más, tiene una dirección general, supervisión, una gerencia para cada sucursal, gerente de recursos humanos, encargados en

área de almacén y contabilidad, a su vez con sus respectivos colaboradores en piso, salchichonería y cajas. Lo que se espera lograr es la mejora del proceso de capacitación, que propiciarán un cambio en la productividad, que lograrán el desarrollo y fortalecimiento de conocimientos, habilidades y aprovechar el potencial del talento humano. La capacitación es una de las estrategias empresariales que más cambios ha sufrido a consecuencia de la pandemia, lo cual significa, la actualización e innovación en el uso de recursos materiales, tecnológicos, humanos y económicos, adecuándolos a las necesidades de la empresa.

Metodología

La empresa de un tiempo atrás ha presentado ciertas circunstancias desfavorables en la capacitación de su personal, eso representa ciertos altibajos en la productividad dentro de las áreas de trabajo, además de provocar un estancamiento en las actividades de la empresa que no permiten el avance progresivo y que las competencias del personal no se desarrollen de manera eficiente, por otra parte, no se brinda una capacitación que cumpla con métodos adecuados para el desarrollo individual o colectivo. Es importante mencionar que no se cuenta con un capacitador responsable y en consecuencia origine que el personal de nuevo ingreso no desarrolle las habilidades necesarias para realizar las actividades dentro de su espacio de trabajo o que en su defecto no cumpla con los resultados que la empresa requiere, la capacitación se ha dado de manera empírica, ya sea por el personal que tiene más experiencia o por el encargado de la empresa, todo esto de manera informal, sin medidas de seguridad o sin algún formato donde se registren aspectos a considerar, la capacitación se da en un lapso de dos semanas, que es el tiempo máximo que normalmente se da al personal de nuevo ingreso, posteriormente a esto, solo se da indicaciones de lo que se debe ir mejorando, sin aplicar una fase de evaluación. Derivado de lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación, ¿Qué elementos considerar en el plan de capacitación que fortalezcan las competencias laborales de los empleados en la empresa ya mencionada?, por lo tanto, el objetivo de este proyecto se centra en:

Desarrollar un plan de capacitación para el personal, que permita el fortalecimiento de competencias e impulsar el talento de los colaboradores de la empresa.

Los objetivos específicos se plantean a continuación:

- Identificar las necesidades que existen en el proceso de capacitación para desarrollo del personal eficiente.
- Establecer procedimientos para poder llevar a cabo la capacitación con un panorama en costos, temas y programas.
- Identificar medios de capacitación adecuados que permitan ofrecer eficacia individual y rendimiento colectivo.
- Desarrollar formatos que permitan diagnóstico de necesidades en función de la capacitación para su correcta calendarización.
- Brindar actualización, orientación y conocimiento en el proceso de capacitación del personal que sea útil para el área de personal.

De acuerdo a Chiavenato (2020) la capacitación se refiere a “El proceso educativo de corto plazo, aplicado de manera sistemática y organizada, por medio del cual las personas adquieren conocimientos, desarrollan habilidades y competencias en función de objetivos definidos.” [1] Esta definición brinda una noción clara de que la capacitación se aplica mediante un proceso de enseñanza-aprendizaje, donde la finalidad es proporcionar competencias, y es una forma de brindar educación que contribuya de forma efectiva a la organización. Por lo que es necesario considerar los beneficios que se obtienen de dirigir recursos para la formación del personal. Tomando en consideración a Werther, W, at al. (2000) citado en Francia, A. (2017) se señalan algunos de los beneficios, de los cuales destaca el elevar la motivación a los colaboradores, lograr un sentido de pertinencia de los empleados, respaldar la toma de decisiones en cuestiones de promoción, incrementa la productividad, ayuda en alcance de logros personales y organizacionales, mejora el conocimiento del puesto, entre otros. [2]

Para determinar si una persona es hábil, o si tiene las cualidades necesarias que estén relacionadas en la forma que desempeña su trabajo, para ello, se puede recurrir a ciertos elementos que contribuyen en gran medida, a conocer como es la manera en que los presenta en su vida diaria y en empleo. En el país existe una estrategia nacional que sirve de apoyo para impulsar dichas habilidades, el cual es conocido como Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER) que coordina el Sistema Nacional de competencias (SNC). Este organismo puntualiza el desarrollo de la competitividad económica, aspectos educativos y sociales, con la intención de generar empresarios, trabajadores del sector público y privado que sean capaces de cumplir con los requerimientos actuales del mundo globalizado. Para el desarrollo de los programas de capacitación se tomó de base algunos de los estándares de competencias del CONOCER, una vez que se identificaron las áreas en las que se realizará la capacitación de la empresa, se identificaron los procedimientos, posteriormente se alinearon cuáles son competencias (habilidades, conocimientos y valores/actitudes) que debían presentar de acuerdo al estándar más parecido posible al puesto a capacitar. [3]

Es este caso se utilizaron los siguientes:

- EC0716 Apoyo en procesos comerciales en el área de ventas
- E0140 Preparar los productos y mercancías para la venta.
- EC0081 Manejo higiénico de los alimentos.

Cada programa de capacitación generó su propio manual para el capacitador y material para el participante, impreso y digital. La instrucción utilizada fundamentada es el taller, tal y como lo menciona los autores Hernández y Valencia [4] como un proceso de enseñanza-aprendizaje, aplicando conceptos basados en la realidad social, donde los participantes se encuentra realizando actividades de forma práctica, es decir, aprender haciendo.

El proceso de capacitación a desarrollar según (Alles, 2019) consta de cinco fases. La primera trata sobre el diagnóstico de detección de necesidades aplicando un formato específico, que permite conocer las áreas de oportunidad de la empresa, (FDNC). En la segunda fase se construye el programa de capacitación, donde se ajusta a las necesidades de los colaboradores, de acuerdo a los resultados obtenidos en la fase anterior. La tercera fase es la implementación, y es donde se lleva a cabo el programa. Finalmente, la etapa cuatro y cinco buscan la evaluación de los resultados a partir de una auditoría donde se pueda dar seguimiento a los resultados. [5] En la siguiente ilustración se muestra dicha metodología. (Ver figura 1)

Figura 1. Proceso de capacitación



Fuente: Alles, 2019. [5]

La investigación es con enfoque mixto, ya que se utilizaron variables cuantitativas y cualitativas. Para el diagnóstico debido a que la población es muy pequeña, se optó por no considerar un método de muestreo, ya que el 100% del personal operativo de esta empresa será considerado en el estudio, equivalente a dieciocho colaboradores. En este contexto, se utilizó el muestreo propositivo, y se aplica cuando el universo está integrado por una población reducida, ya que al aplicar una muestra representativa en algo tan pequeño modificaría los resultados y se tendría un error elevado. Este muestreo propositivo generalmente se manipula cuando se quiere conocer actitudes, valores, ideas u opiniones. [6]

Para la obtención de datos, se aplicó una encuesta y una entrevista, se diseñó un cuestionario con el fin de interactuar con el colaborador y conocer cuáles son sus perspectivas con base a la capacitación otorgada por la

empresa, según su criterio, esta encuesta va dirigida a personal operativo, aunado a esto, se realizó una entrevista dirigida a gerentes, subgerentes y personal administrativo, estos instrumentos ayudaran a la recolección de datos. En el apartado de segundos y terceros resultados se describen en forma de resumen ejecutivo el desarrollo de cada una de las fases aplicadas en la empresa.

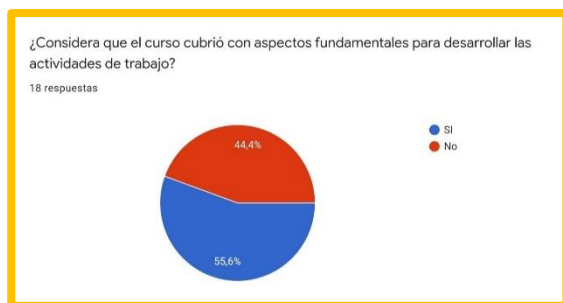
Resultados y discusión

Primeros resultados

El análisis e interpretación de la recolección permitió iniciar el proceso del diagnóstico. El 55.60% de la población encuestada de la empresa considera que la capacitación a su ingreso si cubrió con aspectos fundamentales para poder desarrollar de manera adecuada las actividades de trabajo y buen desempeño, el 44.40% menciona que no se consideró información fundamental sobre aspectos de importancia en su formación. (Ver gráfica 1)

Respecto al capacitador se encontró información que sugiere darle herramientas indispensables para llevar a cabo un proceso de enseñanza-aprendizaje adecuado, puesto que el 38.90% de la población encuestada de la empresa considera que la participación del capacitador fue buena y que cumplió con su objetivo, el 27.80% menciona que la participación del capacitador presentó factores que intervinieron en el desempeño del capacitador, el 22.20% menciona que la participación del capacitador fue excelente, mientras que el 11.10% considera deficiente la participación del capacitador. (Ver gráfica 2)

Gráfica 1. Antecedentes de capacitación



Fuente: Datos brindados por la empresa

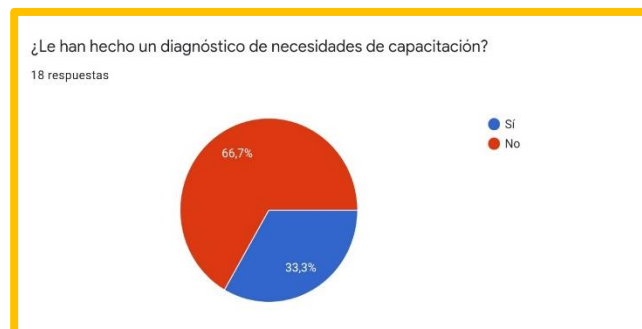
Gráfica 2. Desempeño del capacitador



Fuente: Datos brindados por la empresa

Un tema muy importante que se encontró en esta información es respecto a la detección de necesidades de capacitación, lo cual lleva a la incertidumbre de saber si el personal es competente para brindar un servicio adecuado. El 66.70% de la población encuestada de la empresa, menciona que no le han realizado un diagnóstico de necesidades de capacitación, esto representa una variable a considerar ya que no hay apertura para la atención en áreas de oportunidad del personal, mientras que el 33.30% menciona que si hay atención en ese aspecto. (Ver gráfica 3)

Gráfica 3. Diagnóstico de necesidades



Fuente: Datos brindados por la empresa

De acuerdo a la entrevista que se realizó a los dueños de la empresa, se determinó que la capacitación es un rubro que desean atender con prioridad ya que, al mejorar dicho proceso, cada colaborador sabrá mejor cuáles son sus funciones, entenderán la importancia de las actividades que hay que realizar, así como brindar una mejor atención a los clientes. Han destinado un presupuesto y tiempo específico para hacer formal la capacitación de los empleados. De acuerdo a lo obtenido se lleva a cabo la aplicación del DNC, para su posterior elaboración del programa de capacitación.

Segundos resultados

Después de analizar previamente las condiciones que presenta cada área de trabajo de esta empresa, el departamento de recursos humanos llegó a la conclusión de que se debe centralizar la atención en capacitar todas las áreas de trabajo con el objetivo de fortalecer las competencias del personal para poder mejorar, reforzar y actualizar los procesos internos de la empresa. Con el plan de capacitación adecuado se espera obtener una mejoría notable, cubriendo los aspectos de una capacitación correcta, mejorando y fortaleciendo las competencias de los empleados mediante la formación eficiente, la integración de nuevos conocimientos, así como de la actualización que permitirá obtener mayores rendimientos. Para las primeras tres áreas enlistadas, se realizó un programa de capacitación en modalidad presencial, para el área administrativa será en línea (las plataformas digitales serán evaluadas posteriormente).

Fase 1. Aplicación de Formato de Detección de Necesidades de Capacitación (FDNC)

En esta primera etapa se aplicó el formato que brindó información para determinar las necesidades. (Ver tabla 1)

Tabla 1. Detección de necesidades por puesto de trabajo

Área de trabajo	Situación actual	Pregunta de interés en temas de capacitación
Administrativa	Funcionamiento correcto en procesos y funciones.	¿Qué temas de interés cree adecuados para la capacitación? Cursos On-line
Cajas	Retraso en algunos procesos.	¿Qué temas de interés cree adecuados para la capacitación? Ambiente laboral Acomodo de mercancías
Auxiliar de piso	En el área de acomodo de mercancías: Reclamaciones, los clientes han argumentado que existe obstrucción de pasillos con mercancía sin acomodar, mala atención de clientes y mala posición de precios ocasionado confusión de los clientes al adquirir sus productos.	¿Qué temas de interés cree adecuados para la capacitación? Ambiente laboral Acomodo de mercancías
Salchichonería	Acumulación de tareas y falta de tiempos por las actividades de mayor complejidad o situaciones emergentes que retrasan la culminación de actividades.	¿Qué temas de interés cree adecuados para la capacitación? Estrategia de ventas Manipulación de alimentos

Fuente: Datos brindados por la empresa.

La detección de necesidad se centró en tres vertientes principales, la solución de problemas por bajo desempeño, desarrollo laboral a personal de nuevo ingreso y conocimiento de funciones de forma más específica. La detección de necesidades se enfocó en la solución de problemas, como una acción correctiva, por bajo desempeño o por reclamación de clientes; para el desarrollo laboral se dirige a personal de nuevo ingreso, por ascenso o promoción, por transferencia de puesto, o actualización.

Fase 2. Elaboración de programa de capacitación

A continuación, se muestra un resumen ejecutivo de los programas de capacitación para cajas, piso, y salchichonería. El programa de capacitación fue planeado para que el área de recursos humanos pueda llevar a cabo la capacitación de forma ordenada. El tipo de instrucción a utilizar para las tres capacitaciones, son de tipo taller, ya que, son totalmente prácticos, pero con bases teóricas, el personal que se encuentre en la capacitación, tendrá el acceso a un manual con todos los procedimientos que debe realizar, con las operaciones de forma detallada. La capacitación tendrá una duración de 12 días, con un total de 96 horas repartidas en 8 horas diarias.

El programa de capacitación para cajas, es sobre el uso del sistema “Microsip 2008”, que utiliza la empresa, esto con el objetivo de preparar a las personas en el área de registro y cobro de productos, mercancías y servicios de la empresa.

- Modulo 1. Conocimiento de interfaz
- Modulo 2. Apertura de cajas
- Modulo 3. Elementos de la hoja de venta
- Modulo 4. Retiros/ingresos de caja
- Modulo 5. Órdenes de venta
- Modulo 6. Devoluciones de venta
- Modulo 7. Elementos del cierre de caja
- Modulo 8. Actividades complementarias: Atención al cliente, limpieza de área, acomodo de mercancía.

Como un referente profesional y actual del entorno empresarial, se tomó en consideración el estándar de competencias del Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER) con el EC0716 (Apoyo en procesos comerciales en el área de ventas) dirigido a indicar si una persona es o no competente en los procesos comerciales en el área de ventas, y establece las funciones elementales con las que los colaboradores deben cumplir.

Las competencias que se espera desarrollar son:

- Conocimiento: Funcionamiento del equipo, diferencias de efectivo, productos, aspectos generales del sistema en uso.
- Procedimientos: Apertura y cierre de caja, Menú de opciones, entrega de efectivo, y verificación de productos en sistema (verificar productos, en caso de ser desconocidos por el sistema, la descripción del empaque difiera con las características del producto, falta de código de barras, difiere el precio en el sistema de registro y cobro y el producto.)
- Valores/actitudes esperadas: Limpieza personal, amabilidad, tolerancia, orden. [7]

Los materiales a utilizar son el equipo de cómputo, sistema, instrumentos de evaluación (para personal capacitado y el capacitador).

Respecto al programa para la capacitación del puesto “auxiliar de piso” de igual forma se incluyeron los siguientes módulos de conocimiento:

- Modulo 1. Inducción a la empresa, uso de equipo de protección personal, líneas de trabajo.
- Modulo 2. Características de productos, acomodo de mercancías.
- Modulo 3. Recepción, distribución y almacenamiento de las mercancías, rotación de productos.
- Modulo4. Medidas de limpieza e higiene de área de trabajo.

Las competencias que se espera desarrollar son:

- Conocimiento: Características de productos, condiciones de productos, ubicación de productos, y exhibición de productos.
- Procedimientos: Bienvenida (atención al cliente), reporte de anomalías, asistencia al cliente, verificación de precios.
- Valores/actitudes esperadas: Limpieza, orden, amabilidad, tolerancia.

El estándar utilizado para este programa es E0140- Preparar los productos y mercancías para la venta. [8]

En el caso del programa destinado al puesto de auxiliar de salchichonería se enlistan los siguientes temas:

- Modulo 1. Inducción a la empresa, uso de equipo de protección personal, imagen personal, anaqueles, equipos de refrigeración, equipo de corte de carnes frías y equipo de medición destinados para realizar las actividades de trabajo.
- Modulo 2. Líneas de productos, características de cada producto exhibido en los anaqueles y refrigerador, etiquetado de los productos, como lo son características del producto descritas, precio, código de barras, códigos alternos.
- Modulo 3. Acomodo de mercancías en su respectivo lugar, con parámetros de acomodo, precio, orden, limpieza, cuadraje de las mercancías, caducidades y condiciones de los productos. Recepción, almacenamiento y preparación higiénica de los alimentos, utensilios y herramientas de trabajo y mercancías, rotación de productos.
- Modulo 4. Temperaturas óptimas para le refrigeración de carnes frías y embutidos, medidas de limpieza e higiene de área de trabajo, orden y separación de manera higiénica de los residuos materiales generados por los empaques de los productos.
- Modulo 5. Habilidades de atención al cliente, para su servicio y orientación, los valores empresariales.

Los materiales a utilizar son los instrumentos de evaluación, hojas de registro de temperatura, equipo de protección personal.

Las competencias que se espera desarrollar son:

- Conocimiento: Concepto de sanitización, piezas básicas para corte de los alimentos, rotación de caducidades en vitrina, causas de contaminación de los alimentos, manejo de herramientas, condiciones del producto.
- Procedimientos: Reporte de anomalías, asistencia al cliente, condiciones de exhibidores.
- Valores/actitudes esperadas: Limpieza, orden, responsabilidad.

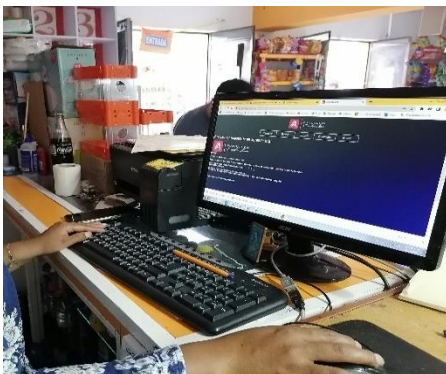
El estándar utilizado para este programa es EC0081 Manejo higiénico de los alimentos. Como se puede observar se realizaron tres programas de capacitación para puestos distintos, y se realizarán de forma presencial, a diferencia del área administrativa que se llevará a cabo en modalidad en línea, para este último no se realizó un programa debido a que cada plataforma virtual ya cuenta con su propio temario. En el siguiente espacio se muestra evidencia de como se ha llevado a cabo la capacitación presencial. [9]

Terceros resultados

Fase 3. Implementación

Se llevó a cabo la capacitación utilizando cada uno de los elementos incluidos en los respectivos programas. (Ver figuras 2 y 3).

Figura 2. Capacitación cajas



Fuente: Fotografía tomada por empresa

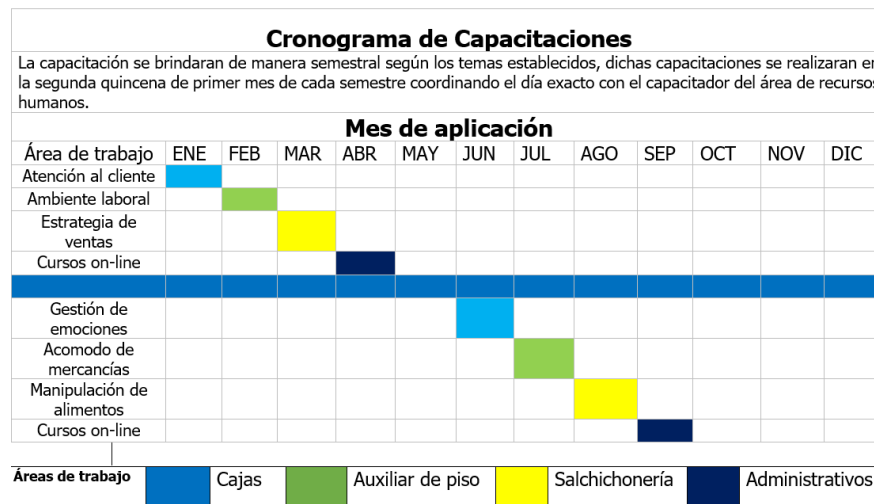
Figura 3. Capacitación piso



Fuente: Fotografía tomada por empresa

Además de que se agregó un programa anual de capacitación, en el que se describen las áreas de trabajo, temáticas y los periodos en los que se tienen que llevar a cabo. (Ver figura 4)

Figura 4. Cronograma Plan anual de capacitación



Fuente: Elaboración propia

Fase 4. Evaluación

Para el proceso de evaluación cada programa de capacitación se dividieron las competencias a evidenciar.

1. Actitudes y valores, determinados por un indicador que hace que sea evaluable mediante los criterios de, competente notable, competente bueno, y competente regular, la cual arroja una sumatoria final que a su vez lo clasifica en excelente, bueno y regular con su respectiva interpretación
2. Conocimientos y procedimientos. En este se determinaron los procedimientos y los conocimientos que debe mostrar al llevar a cabo las operaciones, con una escala que los define como, muy buenos, buenos regular y malo. Al final la puntuación obtenida también indica en qué nivel se encuentra el colaborador.

Se debe destacar que al final de cada instrumento aplicado determina si el empleado es competente o no, en función de los resultados obtenidos. Así mismo, se evalúa al personal encargado de llevar a cabo la capacitación, a partir de un instrumento de evaluación totalmente diseñado para identificar las fortalezas y áreas de oportunidad del programa de capacitación, y del capacitador. A continuación, se muestra un ejemplo de uno de los instrumentos de evaluación. (Ver figura 5). Para la evaluación de la capacitación se incluyen tres aspectos primordiales, el primero es saber si el objetivo fue bien planteado, y en qué nivel se cumplió; el segundo es sobre la metodología, y finalmente el desempeño del capacitador. (Ver figura 6)

Figura 5. Instrumento de evaluación “Auxiliar de piso”

INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTOS Y PROCEDIMIENTO DEL ÁREA AUXILIAR DE PISO.

Datos del participante
 Nombre del participante: _____
 Área de trabajo: _____ fecha de ingreso: _____
 Nombre del evaluador: _____
 Fecha de la evaluación: _____

Instrucciones: De los siguientes enunciados marque la opción que mejor refleje el conocimiento y procedimiento empleado por el trabajador.

Escala

Competencias a evaluar	Conocimiento	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno	Puntaje
		1	2	3	4	
Competencias a evaluar	Características de productos Verifica los productos y mercancías de las características a considerar, en que todo producto debe presentar un código de barras y tener congruencia con la descripción del producto.					
	Condiciones de productos Los productos los presenta libres de daños, sin alteraciones en el artículo, con fecha de caducidad, con etiquetado de precio, colocados en los puntos de seguridad para su venta.					
	Ubicación de productos Conoce el área donde se ubican y almacenan los productos.					
	Exhibición de productos Los productos los exhibe de manera correcta en su área correspondiente sin equivocación.					
Competencias a evaluar	Procedimiento					
	Saludo de bienvenida Aborda al cliente mediante un saludo, haciendo la pregunta de qué es lo que necesita para la venta de productos.					
	Reporte de anomalías Realiza reportes periódicos de anomalías en su área de trabajo, esto lo hace una vez de haberlas encontrado.					
	Asistencia al cliente Asiste al cliente mediante la revisión de la existencia de productos y confirmando el requerimiento, para después hacer una descripción de las características con las cuales cuenta el producto.					
Tabla de interpretación	Verificación de precios Verificación de precios de las posibles ofertas, promociones y rebajas, los cuales deben corresponder con lo descrito, contar con un lugar visible, y estar dados de alta en el sistema operativo del establecimiento.					
	Puntaje total:					
	Firma del evaluador:					
	Comentarios Ver tabla de interpretación de puntaje					

(Departamento de Recursos Humanos)

Factores de evaluación		Muy bueno 25-32	Bueno 17-24	Regular 9-16	Malo 1-8
Conocimiento	Conoce todo el trabajo	Conoce más de lo necesario	Conoce parte de su trabajo	Conoce poco de su trabajo	Mala realización de trabajo
Procedimiento	Muy buena capacidad de realización de trabajo	Buena capacidad de realización de trabajo	Regular capacidad de realización de trabajo	Mala realización de trabajo	

Al final el colaborador deberá comprobar lo siguiente:

La persona se considera competente cuando obtiene lo siguiente:

- Productos (Procedimiento)**
- Verificación de productos y mercancías, de las características a considerar, es que todo producto debe presentar un código de barras y tener congruencia con la descripción del artículo.
 - Debe contar con una exhibición con acomodo adecuado y clasificación en anaqueles correspondientes de acuerdo a su categoría y perfectamente limpios.
 - Los productos deben presentarse libres de daños, sin alteraciones en el artículo, con fecha de caducidad, con etiquetado de precio, deben estar colocados en los puntos de seguridad para su venta, y contar con el mobiliario limpio y sin algún obstáculo que pueda interferir.
 - Verificación de precios de las posibles ofertas, promociones y rebajas, los cuales deben corresponder con lo descrito, contar con un lugar visible, y estar dados de alta en el sistema operativo del establecimiento.

Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Instrumento de evaluación “capacitación”

Formato de evaluación del capacitador

Tema de la capacitación: _____
 Nombre del facilitador: _____
 Fecha de la evaluación: _____

Con el fin de mejorar continuamente la calidad y efectividad de las actividades de capacitación desarrolladas e implementadas por el programa de formación del departamento de recursos humanos. Se requiere de su participación ya que es muy importante para nosotros, por favor marque con una 'X' las respuestas que mejor de ajuste a su opinión.

Objetivos de la capacitación	Si	No
¿El objetivo de la capacitación estuvo estipulado de forma clara y concreta?		
¿Los objetivos del programa de capacitación respondieron ante las necesidades de formación?		
¿Los nuevos aprendizajes adquiridos le son de utilidad para desempeñar mejor sus actividades?		
¿Ha obtenido nuevos conocimientos gracias a la capacitación recibida?		

Metodología de la capacitación	Malo 7	Regular 8	Bueno 9	Excelente 10
Como califica usted la forma como se desarrolló el programa de capacitación.				
Como considera la motivación y la valoración recibida durante la capacitación.				
Los materiales utilizados en la capacitación fue:				
Como sintió el desarrollo de la capacitación.				

Desempeño del capacitador	Malo 7	Regular 8	Bueno 9	Excelente 10
Como fue el desempeño por parte del capacitador fue:				
La comunicación que se dio entre el capacitador y los capacitados fue:				
El ambiente generado por el capacitador hacia los capacitados fue:				
La retroalimentación por parte del capacitador fue:				

Recomendaciones o comentarios adicionales
 Ver tabla de interpretación de puntaje

Factores de evaluación	Malo 28-31	Regular 32-35	Bueno 36-39	Excelente 40
Metodología	El contenido carece de calidad	El contenido tiene calidad regular no cuenta con lo necesario	La calidad del contenido aspectos que reforzar	La calidad del contenido cumple con lo requerido
Desempeño	Parcialmente Satisfactorio en ocasiones presenta errores	Siempre satisfactorio su exactitud es regular	A veces superior bastante exacto en su trabajo	Siempre superior exacto en su trabajo

Fuente: Elaboración propia

Últimos resultados

Fase 5. Auditoría

Es importante dar un seguimiento al programa anual de capacitación, así como la aplicación correcta del manual desarrollado para el área de recursos humanos, esta fase, aún no se lleva a cabo en la empresa, debido a que los programas de capacitación se siguen aplicando y siguen siendo evaluados, sin embargo, se ha realizado un formato de inventario de competencias del personal, donde se resguardan el avance de las capacitaciones realizadas, así como los resultados de las evaluaciones que consecuentemente servirán para llevar a cabo la auditoría.

Respecto a los costos de inversión de la capacitación, la empresa, busca maximizar el presupuesto de capacitación, así mismo considera mediante alternativas que le resulten eficientes y sin desembolsar demasiado efectivo considerando programas de capacitación gratuitos, por ejemplo, la Fundación Carlos Slim, BBVA Aprendamos Juntos, México X, que son plataformas de cursos en línea, por lo que la inversión no es muy elevada.

Trabajo a futuro

Se recomienda aplicar adecuadamente cada programa de capacitación, y dar seguimiento por medio de una auditoría periódica que permita identificar los avances, áreas de oportunidad y estrategias para el desarrollo de nuevos programas, así como la actualización de los ya establecidos. Se tiene planeado generar un área específicamente encargada de brindar una participación complementaria con el departamento de recursos humanos, como parte de una iniciativa de mejora continua de la empresa.

Conclusiones

El desarrollo del plan de capacitación se ajustó a las necesidades de la empresa, se utilizó la manera adecuada de poder cubrir con todos los aspectos que se consideraron pertinentes para el cumplimiento del proyecto, existen aún ciertos aspectos que se pueden incluir dentro del plan de capacitación referente a futuras necesidades que presente la empresa, hay cuestiones que aun a los directivos les cuesta implementar y es lógico debido a que es la primera vez que llevan un plan de capacitación de manera formal. A manera de conclusión, es necesario tomar en consideración que la capacitación es una inversión rentable, fundamentada en competencias laborales, debe considerar temas direccionados al desarrollo del conocimiento, basado en la práctica y sobre todo a la formación de ideas, criterios y la forma genuina de hacer los procedimientos, no solo a los de nuevo ingreso sino también a los ya establecidos, centrarse en el desarrollo de las competencias, que le podrán dar a la empresa ventaja competitiva y cumplir con los objetivos para alcanzar el éxito que espera.

Agradecimientos

Al residente profesional siempre comprometido con su trabajo, que cumplió con su rol de aprendiz y dando lo mejor de sí. Juan Carlos Martínez del Carmen.

Referencias

- [1] I. Chiavenato, *Gestión del Talento Humano*, México: McGraw-Hill, 2020, p. 626.
- [2] A. Orozco Francia, *El impacto de la capacitación*, Primera ed., Estado de México: UNID Editorial Digital, 2017, p. 95.
- [3] Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales, «El conocer y el Sistema Nacional de Competencias,» 21 febrero 2019. [En línea]. Available: <https://conocer.gob.mx/como-certifico-mis-competencias/>.
- [4] T. J. Hernández, G. K. Valencia Sandoval y D. Duana Ávila, *Contratación y capacitación: factores de permanencia del capital humano en las PYMES*, Ciudad de México: Plaza y Valdés, S.A. de C.V., 2020.
- [5] M. A. Alles, *Formación, Capacitación, Desarrollo.*, primera ed., Buenos Aires: Ediciones Granica, 2019, p. 348.
- [6] S. P. Izcarra Palacios, *Introducción al muestreo*, Primera ed., Tamaulipas: Miguel Ángel Porrúa, 2007, p. 130.
- [7] Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales, «CONOCER,» 10 agosto 2016. [En línea]. Available: https://conocer.gob.mx/contenido/publicaciones_dof/EC0716.pdf.
- [8] Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales, «CONOCER,» 28 MARZO 2008. [En línea]. Available: <https://www.ilce.edu.mx/images/certificaciones/competencias/estandares/fichaEstandar0094.pdf>.
- [9] Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales, «CONOCER,» 13 noviembre 2010. [En línea]. Available: <https://www.cecytcampeche.edu.mx/estandares/EC0081.pdf>.

Análisis comparativo de dos momentos de Evaluación Avanzada del Desempeño y eficiencia en una empresa

Rafael Rivera Rodríguez y María Cristina González

Universidad Americana de Europa

rafael.rivera@comunidadfuturo.com

Área de participación: Ingeniería administrativa)

Resumen

En el presente trabajo se presenta la comparación de los resultados obtenidos en dos ocasiones, en una empresa del sector maquilador en distintos periodos de la aplicación de "evaluación avanzada del desempeño" (EVA). Para tal efecto se analizan los efectos en alcance en cantidad de personal implicado y conductas tratadas, complejidad de los registros, prueba de variables, procesos conductuales, posibilidad de extensión al resto del personal, tiempo real y resistencia al cambio.

La población abarcada en el primer caso es de nueve gerentes más su personal, que fluctúan entre los 18 y 50 años de edad, de distintos niveles, que van de operador a supervisor. En el segundo caso, se trata de los nueve gerentes a cargo de los diferentes departamentos de la empresa.

Los resultados finales, permiten observar una evolución en la eficiencia del sistema, de periodo a periodo.

Palabras clave: evaluación; desempeño; sistema

Abstract

This paper presents the comparison of the results obtained on two occasions, in a company in the maquiladora sector in different periods of the application of "advanced performance evaluation" (APE). For this purpose, the effects in scope in number of personnel involved and behaviors treated, complexity of the records, testing of variables, behavioral processes, possibility of extension to the rest of the staff, real time and resistance to change are analyzed.

The population covered in the first case is nine managers plus their staff, who fluctuate between 18 and 50 years of age, of different levels, ranging from operator to supervisor. In the second case, these are the nine managers in charge of the different departments of the company. The final results allow us to observe an evolution in the efficiency of the system, from period to period

Key words: Evaluation; Performance; System

Introducción

La evaluación avanzada del desempeño (EVA) (Lira, R.M. y Rivera R., 2017) (Rivera R. 2010, 2012, 2014) es un sistema de ingeniería de la conducta, basado en diversas teorías conductuales:

Del condicionamiento operante, (Cofer y Appley, 1971), (Bolles, 1980), (Ferster y Perrot, 1994), (Hilgard y Bower, 1973), (Holland y Skinner, 1990), (Honig, 1980), (Honig y Staddon, 1983), (Keller, 1992), (Millenson, J. R., 1974), (Ribes y Harzem, 1990), (Skinner, 1957, 1974, 1981, 1991), que concluye que esta se sostiene a través de la obtención de estímulos de consecuencia, en una situación dada.

Teoría interconductual, que adopta una visión de campos, en donde el énfasis era no sobre una conducta única, sino en el Inter juego de varias, con un resto de condiciones determinantes del medio. (Guevara, 1994).

Teoría general del universo interverbal (UIV), donde se define el UIV como "...el conjunto formado por la serie de contingencias entre eventos y conductas, que al fin también son eventos pertenecientes a

espacios determinados incluyendo esos eventos y conductas. En términos profanos, contempla el pasado y el presente de esos estados de contingencias, sus límites están dados por los eventos orgánicos, fisicoquímicos y convencionales que contemplan el conjunto en total..." (Rivera, 2007, p. 135)

EVA en las empresas es un procedimiento que generalmente acompaña todo proceso de administración de recursos humanos y que lleva a la asignación y ajuste de premios e ingresos económicos para los trabajadores de acuerdo a los compromisos asignados a su puesto (Grados, J., Beutelspacher, O. y Castro, M.A., 1990), (Lira, R.M., 2006), (Lira y Rivera. 2014, 2016, 2017), (Luthans, F. y Kreitner, R., 1999), (Rivera, 1989, 2010, 2012, 2014, 2019), (Tyson, S. y Jackson, T., 1997).

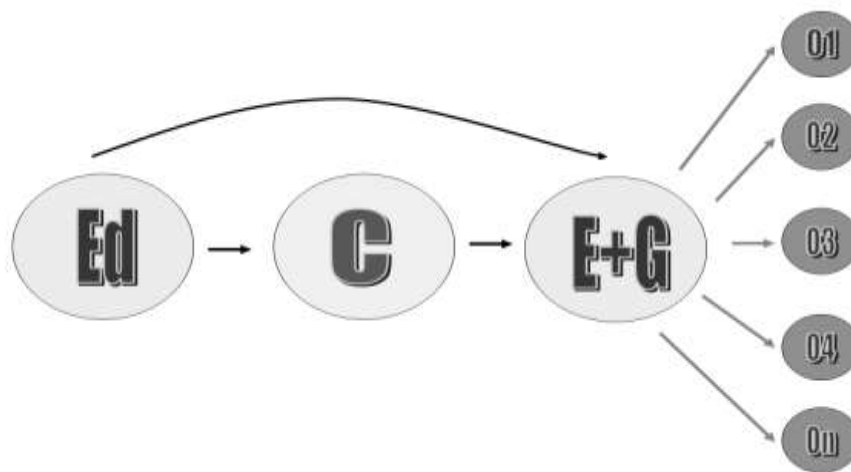
Precisamente esta evaluación ha representado una dificultad que enfrentan los empresarios, en cuanto a justicia y productividad, ya que por mucho tiempo genero incertidumbre respecto a su eficiencia, considerando el riesgo de ser subjetivos sus procedimientos.

Desde la aparición de los procedimientos conductuales, aplicados al entorno laboral (Grados, J., Beutelspacher, O. y Castro, M.A., 1990), se ha visto beneficiada gracias a un cambio de perspectiva de la misma, basándose en procedimientos que se encaminaban a la utilización de inventarios conductuales. Sin embargo, surgió el procedimiento conocido como economía de fichas, que es un sistema desarrollado y publicado por Ayllon y Azrin (1974) bajo el mismo nombre.

Como ya existía suficiente evidencia empírica de las relaciones funcionales entre la conducta y los estímulos del medio ambiente, el desarrollo de este sistema significó un gran avance, no solo en ambientes psiquiátricos -donde originalmente se llevó a cabo-, sino en otros escenarios institucionales, como los escolares (Skinner, B.F., 1991) (Sulzer Azaroff y Mayer,1991) (Rivera, 2014), y para nuestro caso, en los empresariales (Luthans y Kreitner, 1999), (Lira y Rivera, 2014).

Se parte de la base de que un puntaje o una ficha es un reforzador generalizado (ver Fig. 1), dado que puede ser canjeado por una variedad amplia de reforzadores naturales.

Figura 1. Ejemplo de Reforzador Generalizado



En la fig.1 podemos ver una ejemplificación de lo que es un reforzador generalizado (E+G). Se presenta una conducta (C), de acuerdo al proceso de condicionamiento operante, cuya aparición guarda contingencia con un estímulo discriminativo (Ed), que es la señal para que C se presente, y el evento de estímulo, que arbitrariamente se establecerá como un reforzador generalizado (E+G), que serán puntuaciones o fichas, cuya cantidad, dará acceso a una variedad de reforzadores considerados naturales para el grupo de personas implicado.

El sistema es llamado economía de fichas, porque supone un contexto en donde la persona gana puntos en la medida que realiza conductas preestablecidas en un acuerdo con quien administra dichos puntos.

La economía de fichas, es un sistema que está basado en la teoría conductual, teoría que ha

surgido en el campo del análisis experimental de la conducta, (Castro, 1977), (Cofer y Appley, 1971), (Ferster y Perrot, 1994), (Hilgard y Bower, 1973), (Holland y Skinner, 1990), (Honig, 1980, 1983), (Millenson, J. R., 1974), (Skinner, 1957, 1974, 1998).

El ambiente laboral, particularmente el que se presenta en las empresas maquiladoras en Ciudad Juárez, representa una variedad de estresores para la comunidad que pasa en ellas, día a día, que requieren estrategias que fortalezcan una atención a riesgos de tipo psicosocial, mencionadas en la Norma Oficial Mexicana 035, definiendo estos como:

“Aquellos que pueden provocar trastornos de ansiedad, no orgánicos del ciclo sueño-vigilia (ciclo circadiano) y de estrés grave y de adaptación, derivado de la naturaleza de las funciones del puesto de trabajo, el tipo de jornada de trabajo y la exposición a acontecimientos traumáticos severos o a actos de violencia laboral al trabajador, por el trabajo desarrollado.” (Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, (2018))”

Al realizar un análisis de esta norma, se pueden distinguir los siguientes aspectos, al considerar los determinantes del cumplimiento de la misma, en cuanto a programas de atención a los mencionados factores: Evaluación de desempeño adecuada; ambiente laboral satisfactorio; satisfacción del trabajador; adherencia del trabajador a la empresa; empatía con el trabajador; evaluación de conductas de riesgo; intervención eficiente; evaluación eficiente de intervención.

Dadas estas condiciones, se estableció como procedimiento principal, la instalación del sistema EVA (Lira y Rivera, 2014) en dos momentos, en la empresa maquiladora Mack Technologies de Ciudad Juárez Chihuahua. Caso 1, del 24 de marzo de 2017 a agosto del mismo año, y caso 2 del dos de enero del 2020 al 20 de marzo del mismo año. Dichas estrategias, no implican un caso único experimental, pues las poblaciones variaron, tanto en número como en puestos analizados. Sin embargo, lo que se pretende es analizar la evolución del sistema EVA, de momento a momento, sobre la conducta laboral como variable dependiente general, lo cual es común en los dos casos, en el marco de campo real que una misma empresa implica, en dos tiempos diferentes de su desarrollo. Así entonces, el diseño metodológico es el mismo en ambos casos, y como tal, el procedimiento en general.

Hipótesis de trabajo:

Variable Independiente. - Sistema EVA.

Variable Dependiente. - Aumento y disminución de indicadores conductuales de estrés y distrés laboral (Ivancevich y Matesson, 1992), en términos de correlación positiva y negativa.

Hipótesis general de trabajo:

La aplicación del Sistema EVA, en una empresa, puede generar aumento y disminución de indicadores conductuales de estrés y distrés laboral respectivamente, en términos de correlación positiva y negativa.

Hipótesis específicas:

1. La aplicación del Sistema EVA en una empresa, genera Disminución de la frecuencia o intensidad de problemas médicos relacionados con estrés
2. La aplicación del Sistema EVA en una empresa, genera Resultados positivos en el diagnóstico obtenido de Inventarios de Síntomas de Estrés
3. La aplicación del Sistema EVA en una empresa, genera Resultados de satisfacción en encuestas de satisfacción, como la Guía 2 de la NOM 035 en México.
4. La aplicación del Sistema EVA en una empresa, genera Incremento de tasas de respuesta de asertividad
5. La aplicación del Sistema EVA en una empresa, genera Disminución de conflictos laborales relacionados con conducta agresiva
6. La aplicación del Sistema EVA en una empresa, genera Correlación positiva y negativa entre las diversas variables.

Metodología

Materiales

- SIMUIV (dos CD)
- Servidor para almacenaje de datos. De CF o la empresa
- Computadoras con Office 2010. 3gb RAM, con acceso a Internet. Para personal que se auto registra y personal que evalúa.

Desarrollo

Población Objetivo:

Caso 1: Asignación por juicio: Gerentes (7), Supervisores y jefes de Línea (55). Operadores de almacén (34).

Caso 2: Gerentes (9).

Diseño metodológico: Línea Base conductual Tipo AB, Criterio cambiante, bajo un contexto de operante libre.

Procedimiento

1. Selección de objetivos conductuales
 - a. Selección del área de atención. Análisis preliminar del entorno general y particular
 - b. Determinación de la pertinencia de los objetivos
 - c. Operacionalización de términos
 - d. Análisis de precursores conductuales
 - e. Análisis de sistemas de registros afines, ya instalados en su sistema
2. Preparación de las bases de datos de UIV
 - a. Ubicación de centro de computo
 - b. Determinación de la amplitud de las bases de datos, así como de la calidad de los mismos.
 - c. Instalación de software en computadoras de su empresa.
3. Evaluación inicial para pre diagnóstico (primeras dos semanas)
 - a. Establecimiento de Líneas base conductuales
 - b. Capacitación a trabajadores en los procedimientos de registro
 - c. Capacitación a mandos, en los procedimientos de registro (Figura 8)
 - d. Inicio de llenado de registros EVA
 - e. Evaluación inicial. Al inicio del Programa, es necesario contar con una base de datos confiable, que permita tener un parámetro inicial. Esta será contemplada por las primeras dos semanas de registros. (Figura 9)
 - f. El analista realiza el estudio de la evolución de los datos vaciados
 - g. Determinación de reforzadores y decrementadores de conducta potenciales (Consultor) Análisis de Tasas de Respuesta e Intensidad de las conductas objetivo
4. Análisis de datos para Predicción y dirección de sistemas
 - a. Línea base conductual AB, de Universos Interverbales
 - b. Análisis de productividad y resistencia al cambio
 - c. Impacto conductas objetivo En base a los recursos informáticos, establecimiento de predicciones
 - d. Determinación de estrategias a seguir para el control de los nuevos objetivos en cuanto a la conformación de los universos interverbales
 - e. Recomendaciones para el personal directivo (Figuras 11, 12 y 13)
5. Intervención

- a. Establecimiento de programas para la adquisición, mantenimiento de conductas adecuadas y reducción de conductas inadecuadas
 1. Capacitación a personal
 2. Sistema de control de conducta técnicamente dirigido
 3. Aplicación de estrategias como prueba de elementos de control positivo.
 4. Monitoreo mediante sistemas de registro.
 5. Correcciones.
6. Evaluación del Sistema y determinación de siguiente etapa
 - a. Se hace mediante una junta para el análisis de los datos, con el personal Directivo (Figura 14).
 - b. Se aplica una encuesta de Clima laboral para analizar correlaciones

Resultados

Caso 1

Objetivos conductuales:

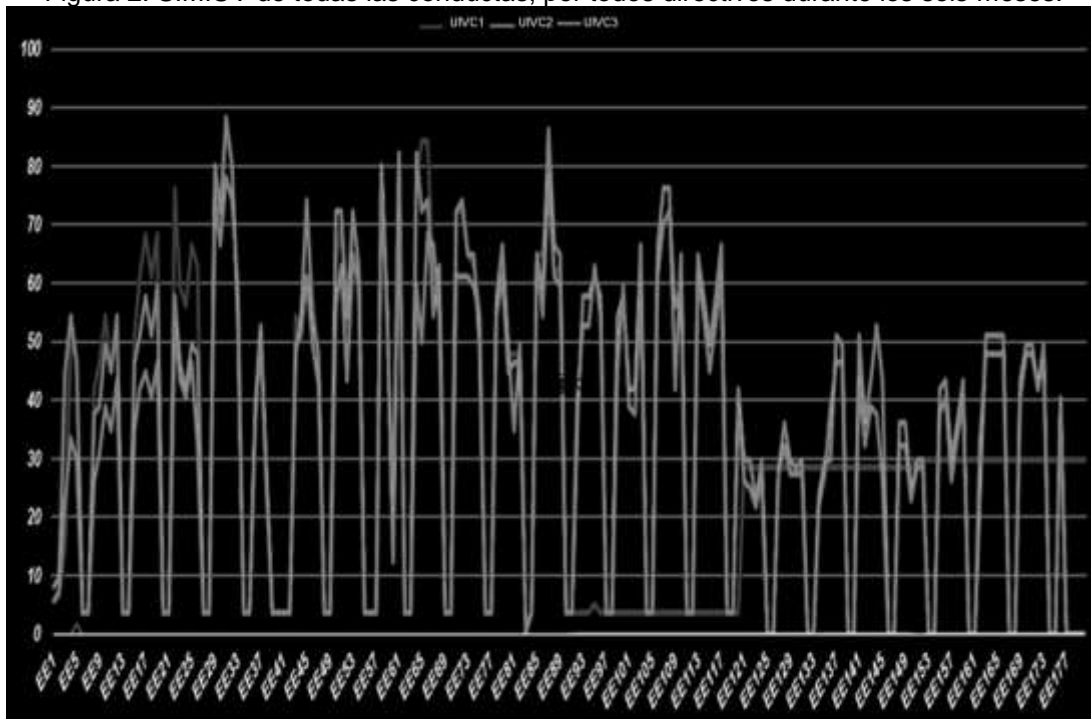
Trabajo en Equipo (C1). Apoyar a los compañeros para lograr un objetivo completo, en tiempo y forma. Hacer la parte que le corresponde y más allá de esta, para el logro del total.

Respeto (C2). Establecer relaciones que impliquen comunicación asertiva, cuidado de los compañeros y de la empresa.

Retos (C3). Determinación y grado de logro de objetivos establecidos por la empresa, o por el propio trabajador.

La figura 2 presenta el comparativo del objetivo conductual “trabajo en equipo”, de todos los Gerentes a los 180 días del ejercicio. La gráfica muestra el promedio de todos los días, uno tras otro.

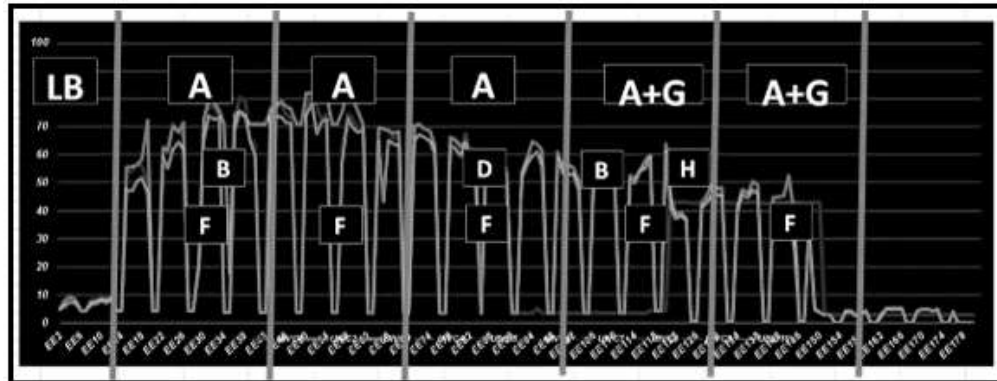
Figura 2. SIMIUV de todas las conductas, por todos directivos durante los seis meses.



En la figura 3 se presenta el resultado del global de los procesos, de acuerdo a la fórmula del UIVc, en el caso de cada conducta específica, durante los seis meses que duró la intervención. Aquí mismo se presentan

las nomenclaturas y presencia en tiempo de las variables reconocidas. La = descripción de las variables se presenta en la tabla 3. A = Retroalimentación a Gerentes. B = Detección de los casos en que no se había llenado puntos a la fecha correspondiente. F = La bajada al piso de Gerente de Calidad. Específicamente para el rubro de C1 (trabajo en equipo), para poder probar si la estrategia es funcional, se recomienda ver si hay correlación positiva con los métricos en producción. métrico de productividad. D= Sesiones de Entrenamiento en Comunicación. H= Se dio seguimiento con gerente de calidad y gerente de ingeniería, para el manejo de comunicación dentro de los procesos de entrega de producto nuevo a producción. A+G= Retroalimentación de Gerentes + Baja de puntos a personal y luego ajuste

Figura 3. Macro Universo Interverbal durante los 6 meses

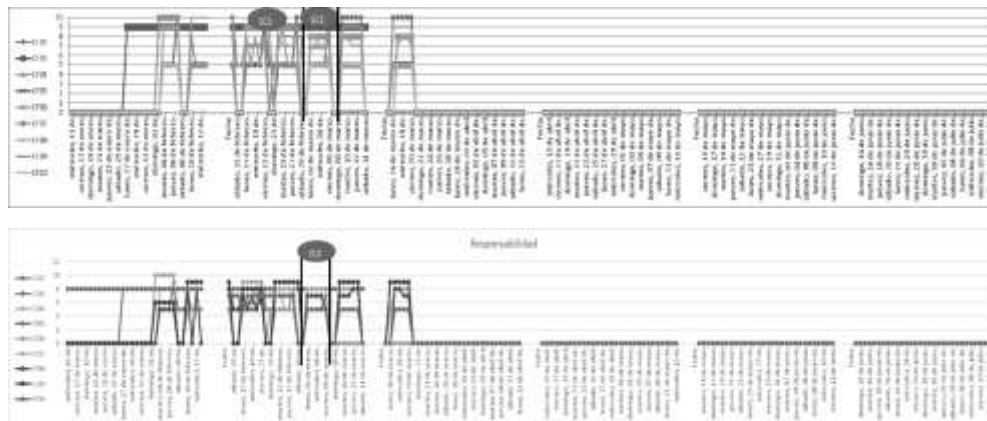


Caso 2

Selección de objetivos conductuales

1. Honestidad. No discrepancias entre datos y realidad. Que sus datos tengan una dirección real de hechos. El hecho congruente con el compromiso
2. Responsabilidad. Que se llegue puntual a su hora de entrada, sin excusas. Entregar lo justo en tiempo y forma. Si es requerido, quedarse más tiempo que la hora de salida. Asumir la dirección make it hapen
3. Trabajo en equipo. Apoyar a los compañeros para lograr un objetivo completo, en tiempo y forma. Hacer la parte que le corresponde y más allá para el logro del total
4. Sentido de urgencia. Distinguir las prioridades. Make it hapen
5. Sentido de pertenencia. Asumir cuando existe una queja, que la solución es propia. Resolverla hasta el final. Hacer análisis de causa-raíz. Cumplir una tarea asignada, hasta su totalidad

Las gráficas presentadas en la Figura 4, nos muestran la alimentación en tiempo real, de la información relativa al desempeño de todos los Gerentes, rubro por rubro, durante los primeros meses.



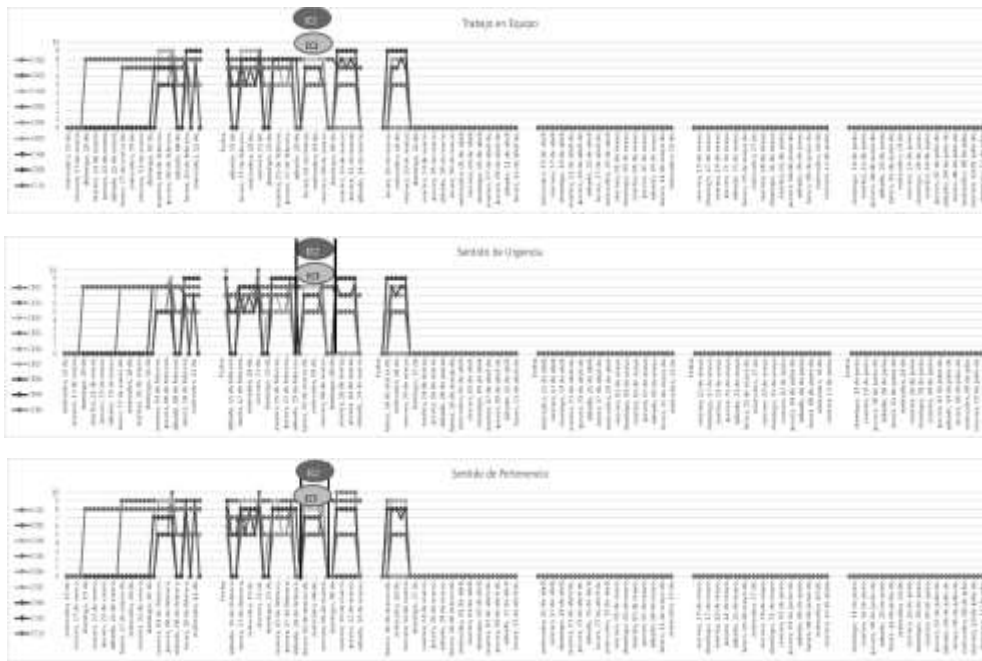


Figura 4. Todos los Gerentes, conducta por conducta, en lo que duro el proceso

En la tabla 1 se muestran las claves y conductas que se presentaron durante el estudio, de acuerdo a las clases establecidas que fueron Honestidad, Responsabilidad, Trabajo en equipo, sentido de urgencia y Sentido de pertenencia.

Tabla 1. Conductas detectadas como variables de intervención

Honestidad		Responsabilidad	
C1.1.1	confirmar la informacion que le pasan los demas trabajadores	C1.1.1	confirmar la informacion que le pasan los demas trabajadores
C1.1.2	Congruencia entre decir y hacer	C1.2.1	Puntualidad
C1.1.3		C1.2.2	Dedicar el tiempo y trabajo suficiente a sus compromisos con la planta
C1.1.4		C1.2.3	Estar pendiente de problemas que se suscitan dia a dia
C1.1.5		C1.2.4	

Trabajo en Equipo		Sentido de Urgencia	
C1.3.1	Generar estrategias para mejora de trabajo en equipo	C1.1.1	confirmar la informacion que le pasan los demas trabajadores
C1.3.2	Claridad en el mando	C1.4.1	Promover sentido de urgencia
C1.3.3	Delegar adecuado	C1.4.2	
C1.3.4	Supervision de trabajo	C1.4.3	
C1.3.5	Lograr que el equipo termine en tiempo y forma	C1.4.4	
C1.3.6	Modelar haciendo el trabajo	C1.4.5	

Sentido de Pertenencia	
C1.5.1	Promover sentido de pertenencia
C1.5.2	

En la tabla 2, de acuerdo con la teoría del condicionamiento operante, se describen los estímulos de consecuencia (EC) y los estímulos discriminativos con su respectiva fuerza en unidades rivs.

Tabla 2. Estímulos de consecuencia EC) y Estímulos discriminativos (ED)

EC		rivs	ED		rivs
EC1	GANANCIA DE PUNTOS	100	ED1	MANDO	62.5
EC2	NO GANANCIA DE PUNTOS	n	ED2	ADVERTENCIA DE EC1	62.5
EC3	Solo retroalimenta	62.5	ED3	ADVERTENCIA DE EC2	62.5

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la tabla 3, a manera de conclusión, se pueden observar las diferencias entre los dos casos, que permiten ver el avance de uno al otro, en los diversos indicadores señalados en el presente trabajo.

Tabla 3. Cuadro comparativo de casos

		Caso 1	Caso 2
General	La aplicación del Sistema EVA, en una empresa, puede generar aumento y disminución de indicadores conductuales de estrés y distrés laboral respectivamente, en términos de correlación positiva y negativa.	SI	SI
1	La aplicación del Sistema EVA en una empresa, genera Disminución de la frecuencia o intensidad de problemas médicos relacionados con estrés	SD	SD
2	La aplicación del Sistema EVA en una empresa, genera Resultados positivos en el diagnostico obtenido de Inventarios de Síntomas de Estrés	SD	SD
3	La aplicación del Sistema EVA en una empresa, genera Resultados de satisfacción en encuestas de satisfacción, como la Guía 2 de la NOM 035 en México.	SD	SD
4	La aplicación del Sistema EVA en una empresa, genera Incremento de tasas de respuesta de asertividad	SI	SI
5	La aplicación del Sistema EVA en una empresa, genera Disminución de conflictos laborales relacionados con conducta agresiva	SI	SI
6	La aplicación del Sistema EVA en una empresa, genera Correlación positiva y negativa entre las diversas variables	SI	SI

Conclusiones

Se puede considerar que, aunque hubo las limitantes mencionadas marcadas en la tabla 3, en cuanto a la validación completa de la hipótesis general y los objetivos 1, 2 y 3, hubo una evolución positiva del caso 1 al 2, que abarca los objetivos 4, 5 y 6. dadas las siguientes consideraciones:

Los registros se hicieron más pormenorizados, aumentando la cantidad de indicadores conductuales de tres a cinco, con la posibilidad de que esta condición fuera ilimitada. Mientras en el caso 1, la posibilidad de refuerzo de conductas adecuadas quedo en plano potencial, en el caso 2 si se realizó, de tal forma que mientras en el caso 1, el establecimiento de la relación de contingencia fue confuso, en caso 2 si fue claro, al poder distinguir las variables de intervención. Los registros en el tiempo real en el caso 1 no fueron inmediatos, mientras que el caso 2 sí. Dadas las anteriores condiciones, se puede considerar que el sistema si se volvió una herramienta para intervención en factores de estrés.

Los procesos de adquisición, reducción y mantenimiento de conductas se dieron en caso 2. Como se puede ver en la figura 3, tomando en cuenta la definición de respeto (C2), existió un proceso confirmado en este rubro, como indicador de conductas asertivas. Lo mismo se puede concluir en el caso 2, en donde la

retroalimentación (EC3) del gerente general se presenta relacionada con el incremento en las conductas de trabajo en equipo, sentido de urgencia y sentido de pertenencia presentadas en la figura 4.

También en el caso 2 se fomentó asertividad y disminución de conflictos laborales relacionados con conducta agresiva, habiendo por lo menos correlación negativa entre las diversas variables siguiendo el supuesto conductual del refuerzo de conductas incompatibles (Vila, Rojas-Iturria, Méndez-Coronel, y Bernal-Gamboa, 2022), (Villamil y Quiroga-Baquero, 2019), partiendo de la base de que asertividad y agresividad si son conductas incompatibles, o sea que en la medida que la primera se presenta, la otra no.

La aplicación en campo real que el presente estudio contemplo a ser un proceso en operantes libres, está sujeta a las variables reales del mismo, como la aceptación por parte de los directivos, de la permanencia del sistema, al menos por un año. Este trabajo, por lo menos, arroja expectativas solidas de le herramienta EVA.

Trabajo a futuro

Habiendo varios aspectos que faltaron de cubrir, señalados en el apartado de conclusiones. Esta condición sería el principal objetivo a realizar en aplicaciones futuro. Requiriéndose dar el tiempo suficiente

Agradecimientos

El autor desea agradecer a:

- Los Directivos y propietarios de la Empresa Maquiladora Mack Technologies, las facilidades brindadas para la realización de este trabajo, en especial a su vicepresidente Oscar Saúl González Gallinar.
- La Universidad Americana de Europa, por el soporte brindado, en especial a la Dra. María Cristina González

Referencias

1. Ayllon, T. y Azrin, N. (1974) *Economía de Fichas, un sistema motivacional para la terapia y la rehabilitación*. México, D.F.: Ed. Trillas.
2. Castro, L. (1977) *Diseños experimentales sin estadística*. México, D.F.: Ed. Trillas.
3. Cofer, C.N. y Appley, M. H. (1971) *Psicología de la motivación*. México D.F.: Ed. Trillas
4. Ferster, C.B. y Perrot, M. C. (1994) *Principios de la Conducta*. México, D, F, Ed. Trillas.
5. Grados, J., Beutelspacher, O., Castro, M.A. (1990) *Calificación de Méritos. Evaluación de la Conducta laboral*. México, D.F.: Editorial Trillas.
6. Guevara, Y. (1994). La teoría interconductual del comportamiento: algunas influencias filosóficas, *Revista Sonorense de Psicología*. Vol.8. Núm. I, Pág. 34
7. Hilgard, E. y Bower, G. (1973) *Teorías del aprendizaje*. México D.F.: Ed. Trillas
8. Holland, J.G y Skinner, B.F. (1990) *Análisis de la Conducta*. México D. F.: Ed. Trillas.
9. Honig, W. K. (1980) *Conducta Operante, investigación y aplicaciones*. México D. F.: Ed. Trillas.
10. Honig, W.K. y Staddon, J.E.R. (1983) *Manual de la conducta operante*. México D. F.: Ed. Trillas
11. Keller, F (1992) *La definición de Psicología*. México, D.F.: Ed. Trillas
12. Lira, R.M. (2006) Evaluación del desempeño de un sistema de producción para tres tipos de entrenamiento en operaciones de ensamble. Tesis de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial. Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. México.
13. Lira, R.M. y Rivera R. (2014) ¿Es posible una Ingeniería de la Conducta? 50 aniversario del Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. Congreso Internacional Kathedra. Ciudad Juárez, Chihuahua, México.
14. Lira, R. M. y Rivera, R. (2016) *Clínica 16. Proyecto de Inversión. Clínica de la Conducta de Servicios Profesionales en Psicología*. Ciudad Juárez, Chih., México.
15. Lira, R.M. y Rivera R. (2017) *Diseño de una Cultura Empresarial. Caso Real Macktech, Congreso*

Internacional Kathedra, por el Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

16. Luthans, F. y Kreitner, R. (1999). *Modificación de la conducta organizacional*. México, D.F.: Editorial Trillas.
17. Millenson, J. R. (1974). *Principios de Análisis Conductual*. México D. F.: Ed. Trillas.
18. Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, Factores de riesgo psicosocial en el trabajo- Identificación, análisis y prevención (2018) Página oficial de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-035-STPS-2016, Factores de riesgo psicosocial-Identificación y prevención. Recuperado en: <https://www.gob.mx/stps/articulos/norma-oficial-mexicana-nom-035-stps-2018-factores-de-riesgo-psicosocial-en-el-trabajo-identificacion-analisis-y-prevencion>
19. Ribes, E. y Harzem, P. (1990) *Lenguaje y Conducta*. México D.F.: Ed. Trillas
20. Rivera, R. (1989) El problema Industrial de los Seres Humanos. Tesis de la Licenciatura en Administración de Empresas. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, Chih., México.
21. Rivera, Rafael. (2007). *Teoría General del Universo Interpersonal*. México D.F.: Editorial El Manual Moderno
22. Rivera, Rafael. (2009). *Comunidad Futuro. Hacia una sociedad psicológicamente sana. Un modelo de Comunidad Sana, para construir y preservar una buena autoestima*. Ciudad Juárez, Chih. México: Ediciones Rafael Rivera R.
23. Rivera R. (2010) SIMUIV y Tecnología de Universos Interpersonales. Un ejemplo, *Revista Electrónica Psicología Científica.com*. Disponible en: <http://www.psicologiacientifica.com/bv/index.php>
24. Rivera R. (2012) Simuiv, análisis y dirección de procesos grupales. El caso Akbal. En Diaz-Loving, Rivera y Reyes. Aportaciones Actuales de la Psicología Social Volumen I. AMEPSO. Disponible en: <https://www.ciad.mx/archivos/desarrollo/publicaciones/Otros/4.pdf>
25. Rivera, Rafael. (2014). *Motivación eficiente en el salón de clases y autocontrol emocional. Ingeniería de la conducta para apoyar al maestro*. Versión en PDF. Ciudad Juárez, Chih. México. Ediciones Rafael Rivera R.
26. Rivera R. (2019) Necesidades de servicios en psicología, presencial y on line sustentados en biga-data: Ciudad Juárez-México. Trabajo Final de Master para la obtención de grado. Programa de Master en Big Data. Universidad Americana de Europa. España.
27. Skinner, B.F. (1957) *La conducta de los organismos*. México, D.F.: Ed. Trillas.
28. Skinner, B.F. (1981) *Conducta Verbal*. México D.F.: Ed. Trillas
29. Skinner, B.F. (1974) *Sobre del conductismo*. Barcelona España: Ediciones Martínez Roca (1987).
30. Skinner, B.F. (1991) *El Análisis de la conducta. Una visión retrospectiva*. México D. F.: Ed. Limusa
31. Skinner, B.F. (1998) *Mas allá de la libertad y la dignidad*. Barcelona, España: Ediciones Martínez Roca.
32. Sulzer Azaroff, B. y Mayer, G.R. (1991) *Procedimientos de Análisis de la conductual aplicado con niños y jóvenes*. México, D.F.: Ed. Trillas
33. Tyson, S. y Jackson, T. (1997) *Esencia del comportamiento organizacional*. México D. F.: Prentice-Hall Hispanoamericana
34. Vila, Javier, Rojas-Iturria, Fátima, Méndez-Coronel, Christian, Bernal-Gamboa, Rodolfo. (2022). *Renovación de respuestas operantes en humanos después de extinción y reforzamiento diferencial de tasas bajas (RDB)*. Revista mexicana de análisis de la conducta. Vol. 48, No 1. Localizado en: https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/publicaciones/libros/Ciencia_Teorica_Practica-Sept-2020.pdf#page=14
35. Villamil Carlos-Wilcen y Quiroga-Baquero, Luis A. (2019) *Análisis del concepto de abstracción y su uso en referencia a las relaciones conductuales*. Perspectivas en Psicología. Vol.15 no.2 Bogotá July/Dec. Epub July 01, 2. Localizado en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-99982019000200012

IDENTIFICACIÓN DE FACTORES AMBIENTALES EN LOS MODELOS DE NEGOCIO DE TURISMO SUSTENTABLE

E. Mendoza Ramírez¹, J. Garnica González^{1}, E. Cruz Coria², N. Escamilla Tobaada³.*

*Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo¹, Universidad Autónoma del Occidente², Universidad Autónoma Metropolitana³
jgarnica@uaeh.edu.mx

Área de participación: Ingeniería administrativa

Resumen

Esta investigación es de tipo cualitativa y descriptiva, la cual se realizó a través de una revisión bibliográfica. Con el objetivo de identificar los factores ambientales que se encuentran incluidos en los modelos de negocio. Obteniendo una recurrencia de las variables que se encuentran en la literatura y que están presentes en los modelos de negocio de turismo sustentable, los cuales tiene un período de tiempo de 2010-2021. Para este trabajo se hizo uso de la metodología de análisis de contenido aplicado a 118 investigaciones, de los cuales 29 investigaciones están enfocadas en factores ambientales, obteniendo así 42 variables. Dichas variables fueron cuantificadas y agrupadas dando como resultado cinco grupos. Concluyéndose que existen oportunidades de innovación en los modelos de negocio de turismo, como el desarrollo de destinos saludables y seguros, tomando en consideración la priorización del equilibrio entre las dimensiones económicas, medio ambiente y social, fundamento de la sustentabilidad.

Palabras clave: Modelos de negocio, turismo sustentable, factores ambientales

Abstract

his research is qualitative and descriptive, which was carried out through a bibliographic review. In order to identify the environmental factors that are included in business models. Obtaining a recurrence of the variables found in the literature and that are present in sustainable tourism business models, which have a time period of 2010-2021. For this work, the content analysis methodology applied to 118 investigations was used, of which 29 investigations are focused on environmental factors, thus obtaining 42 variables. These variables were quantified and grouped, resulting in five groups. Concluding that there are opportunities for innovation in tourism business models, such as the development of healthy and safe destinations, taking into consideration the prioritization of the balance between the economic, environmental and social dimensions, the foundation of sustainability.

Key words: Sustainable tourism, Business models, Environmental factors

Introducción

En los últimos años el factor ambiental ha empezado a generar interés en los directivos de las empresas, siendo parte de sus estrategias y marketing. Muchas empresas se ven obligadas a cumplir con la legislación vigente en cuanto al medio ambiente. Además del interés de satisfacer las demandas de los turistas que exigen una actividad económica que considere a la sustentabilidad y el medio ambiente [1].

Por otra parte, se menciona que el interés del turista ha cambiado con el paso del tiempo, haciendo demandas de productos y servicios personalizados, que van en función con sus gustos y necesidades, preocupados no solo por cuestiones de consumo, sino por el deseo de conocer y relacionarse cada vez más con su entorno [2], [3] y [4]. Para lo cual buscan tener experiencias nuevas y distintas formas de turismo alternativo. Sin embargo, muchas veces en esta búsqueda de nuevas aventuras surge un daño al medio ambiente. Por lo que, se aborda la percepción de los impactos que genera el turismo en el medio, al tener una relación entre el patrimonio cultural, social y natural y un creciente beneficio económico [5]. En otro tenor, se enfoca el interés en el impacto territorial que deja el turismo en el desarrollo sustentable [6]. Por lo que se realiza una implementación de prácticas y

gestión ambiental o certificaciones con el objetivo de generar beneficios a las organizaciones cumpliendo con la diversificación de las necesidades de los turistas [7].

En el turismo sustentable debe existir educación ambiental, debido a que genera un cambio de actitudes y comportamientos tanto en los turistas, las empresas, autoridades y el lugar receptor. La educación ambiental debe fomentar el cambio social, a partir del desarrollo de valores, de actitudes y de habilidades para asumir su responsabilidad social. Por lo se aborda la educación ambiental y el daño ambiental desde un enfoque económico y ambiental, haciendo a su vez una integración de la innovación tecnológica, generando competitividad en las empresas [8]. Es decir, tener un equilibrio de ambas partes. Por otra parte, la educación ambiental en el turismo puede convertirse en una herramienta que minimice los impactos sociales, ambientales y económicos que genera la misma actividad. Promoviendo una relación de la sociedad humana con el entorno [9]. Para lo cual se busca promover el turismo a través de generar apoyo al desarrollo turístico municipal y estatal [10].

Siguiendo en este tenor, algunas propuestas abordan la parte social, económica y ambiental del turismo sustentable y la certificación como parte de una estrategia de afrontamiento a los retos globales que se presentan actualmente [11]. Así mismo, las practicas turísticas, acentúan la importancia de la certificación como estrategia de detención del deterioro ambiental [12]. También hay enfoques de una educación ambiental desde una perspectiva de valores encaminada en un turismo de emprendimiento y sustentabilidad en los espacios naturales protegidos [13]; [14]; [15] y [16]. Por otra parte, también se encausa la educación ambiental a espacios naturales, desde una perspectiva económica y ambiental abordando la acumulación de capital sin tener afectaciones en la pérdida de bienes comunes [17]. Aunado a esto, se menciona que una forma para tener un desarrollo turístico sustentable es pensar en una estrategia que encauce su camino hacia las rutas turísticas de un lugar protegido [18] y [16].

Sin embargo, en el análisis de las investigaciones que se realizó, resaltó otro factor importante a considerar, siendo este la conservación de los entornos. El cual tiene un enfoque cultural de la región, considerando la conservación del entorno y encauzándose no solo en la cultura de la región sino también en el aprovechamiento de los recursos [19]. Por lo que hay investigaciones orientadas en cuestiones de contaminación y de calentamiento global, sugiriendo tener un control adecuado de los recursos, así como de respetar los espacios protegidos con la finalidad de conservarlo [14]. Así como pesquisas con un enfoque de conservación de los entornos guiado hacia el cuidado y la protección de la flora y fauna [20] y [18] y respetando siempre las actividades turísticas que se desarrollan [21]. No obstante, actualmente hay investigaciones no solo en el calentamiento global, la contaminación, la flora y fauna y la conservación de los entornos, sino también buscan tener un desarrollo equilibrado dentro de la sustentabilidad, abordando la parte económica, social y cultural de la región [22]; [23]; [24]; [25] y [26]. Además de tener un aprovechamiento de los recursos, así como promover destinos seguros y saludables para los turistas.

Con base a lo antes mencionado, cada día es mayor el interés por considerar factores ambientales en los modelos de negocio de turismo sustentable. Es creciente la demanda de turistas que buscan tener nuevas experiencias de viaje. Donde buscan tener un contacto con la naturaleza, el cual garantice destinos seguros y saludables para el mismo turista. Pero también esta creciente demanda de los turistas por tener nuevas experiencias, así como el deseo de tener mayor movilidad de turismo, en muchas ocasiones tiene impactos que afectan la calidad del ambiente, el estilo de vida de la población y el medio económico de la región. Es por ello, que es necesario prevenir los impactos negativos ambientales, analizados con anticipación, los cuales tienen impacto en los medios naturales y sociales. Por lo cual esta investigación tiene como objetivo identificar factores ambientales que se encuentran incluidos en los modelos de negocio, los cuales se encuentran incidentalmente, con el propósito de obtener una recurrencia de las variables que se encuentran.

Para lo cual, esta investigación consta de cinco apartados, el primero es una pequeña introducción de los antecedentes que se encuentran en la literatura, seguido de los materiales y métodos utilizados en este trabajo, en el apartado tres se describen los resultados obtenidos en esta investigación, posteriormente en el apartado cuatro se describe la discusión de la investigación, seguido de la conclusión y las referencias.

Metodología

Para esta investigación se hizo uso de la metodología de análisis de contenido, con el objetivo de identificar y analizar los factores sociales en los modelos de negocio de turismo sustentable.

Materiales

Para ello se realizó una búsqueda de la literatura en diferentes revistas como Tourism Management Perspectives, El periplo sustentable, Cuadernos de Turismo, Journal de Innovation y Knowledge. Consultadas estas ya que son revistas que tiene un enfoque de sustentabilidad aplicado a empresas.

Métodos

En esta investigación se hizo la búsqueda de la literatura en 118 artículos, de los cuales solo 29 investigaciones mencionaban factores ambientales, dando como resultado 42 variables ambientales, las cuales fueron asociadas en 5 grupos como como son: la sustentabilidad, el calentamiento global, el impacto ambiental, el desarrollo de destinos y el daño ambiental. Fueron agrupadas de acuerdo a la cantidad de aparición de variables y al enfoque de aplicación de las mismas de acuerdo a los diferentes autores, generando con ello los siguientes resultados.

Resultados

Con base en el análisis que se realizó, se detectaron 42 variables ambientales en los modelos de turismo sustentable, las cuales fueron agrupadas como se muestra en la Figura 1. Estas variables se agruparon con relación a sus características y función en los modelos de negocio.

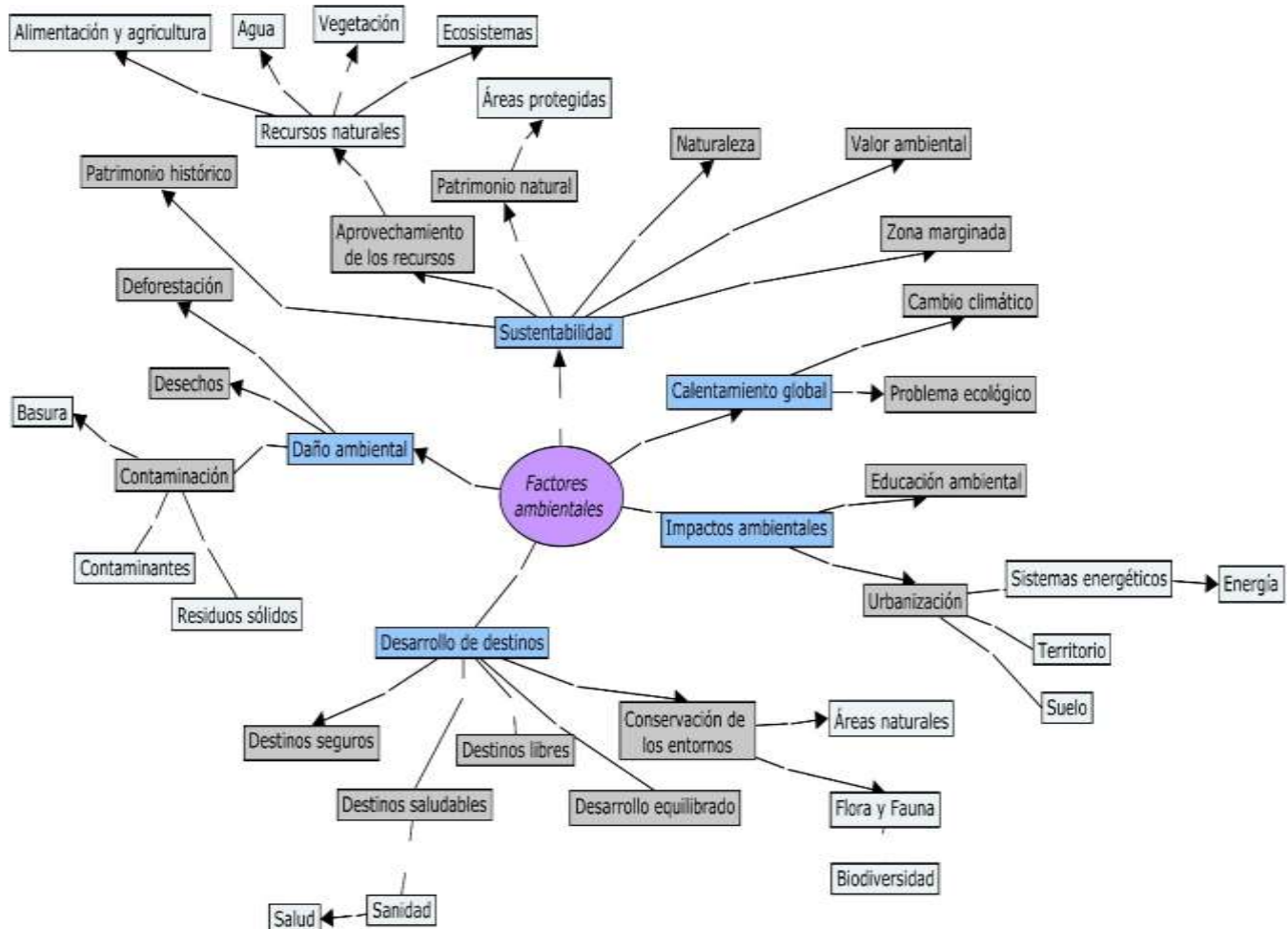


Figura 1. Factores ambientales agrupadas en cinco subgrupos.
Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la Figura 1, los factores ambientales fueron agrupados en cuanto a sus características y relación entre variable, siendo: la sustentabilidad, el daño ambiental, el desarrollo de destinos, los impactos ambientales y el calentamiento global. Cada uno de los elementos de esta clasificación tiene muchas variables que tiene un impacto dentro de los modelos de negocio y que han sido abordadas desde diferentes perspectivas por los autores. De acuerdo a la cuantificación de las variables que se realizó, se obtuvo que, la variable que es más recurrente es el cuidado de la flora y la fauna, seguido de la innovación de la conservación de los entornos. Sin embargo, la variable que tiene menor recurrencia es el desarrollo equilibrado, el aprovechamiento de los recursos y la conservación de los entornos. Por lo cual, muchos autores han abordado estas variables desde diferentes enfoques o perspectivas con el propósito de tener un mejoramiento en los modelos de negocio.

De acuerdo a lo antes mencionado, hay propuestas que buscan mejorar los modelos de desarrollo turístico los cuales están vinculados a la sustentabilidad, conservando los entornos y respetando la cultura local [19]. También se resaltan los rasgos y características del turismo rural sustentable, haciendo una planificación y gestión del turismo en general [27]. Siguiendo este mismo análisis, se hacen mención de los diversos ecosistemas en los que habitan diferentes especies autóctonas que tiene la región turística para la cual se identifican las posibilidades de desarrollo en el turismo rural sustentable, conservando siempre el respeto por la naturaleza, fomentando siempre el turismo con el respeto al medio ambiente, a los valores sociales y culturales, promoviendo la equidad entre la comunidad receptora y el turista [20]. Por otra parte, también se observa el aprovechamiento de los recursos naturales de tal forma que no se vean comprometidos dichos recursos con las generaciones futuras, teniendo siempre un respeto por los mismos [18].

Por otra parte, la existencia de investigación donde se presentan aspectos generales y características principales del turismo sostenible, todo esto enfocada en empresas, cumpliendo con el equilibrio de los tres pilares de la sustentabilidad, que son lo social, lo económico y lo ambiental [28]. Esto con la finalidad de disminuir los impactos generados en las zonas en las que se establecen dichas empresas. También hay investigación orientada a la innovación de los modelos de negocio con la finalidad de ir a la vanguardia y cubriendo las necesidades que las empresas enfrentan actualmente [29]. Pero también se reporta la existencia de la falta de competitividad en las empresas, la dificultad que tienen para posicionarse y mantenerse en el mercado tiene que ver en parte por no tener el aprovechamiento de sus recursos, por lo cual es importante elaborar implementaciones en los modelos de negocio de las organizaciones, con la finalidad de hacer innovación en los mismos modelos [30]. Todo esto mediante la toma de decisiones basada en los antecedentes justificatorios [31]. Así como como de un plan estratégico de turismo sustentable con la finalidad de identificar y dar respuestas a las necesidades que tiene el sector y los actores de la actividad turística [32].

Con base en lo antes mencionado, se hace una ejemplificación de la clasificación que se realizó y los componentes o variables que se localizan dentro de las cinco clasificaciones que se efectuaron. Cabe hacer mención que la clasificación se realizó con base a la recomendación de tres expertos consultados y por medio de un análisis ontológico, esto con la finalidad de tener un mejor entendimiento, así como una mejor visualización del porcentaje de recurrencias o apariciones de las variables en los modelos de negocio de turismo sustentable, para lo cual se debe ver la Tabla 1. Dichos porcentajes fueron obtenidos de la cuantificación porcentual de los tres factores, y posteriormente se obtuvo el porcentaje de cada componente en función de los factores de sustentabilidad antes mencionados.

Como se puede visualizar en la Tabla 1, la categoría que tiene mayor porcentaje en número de apariciones es el desarrollo de destinos, entre los que se encuentra la conservación de los entornos, la flora y fauna, la biodiversidad, el cuidado de áreas naturales el desarrollo equilibrado, destinos seguros y libres. Actualmente cada vez es mayor el número de investigaciones que busca un desarrollo de destinos seguros, libres, equilibrados y saludables. Teniendo un aprovechamiento de los recursos, manteniendo la importancia de un patrimonio histórico, natural y ambiental. Sin embargo, considerando el número de investigaciones encontradas que se enfocan en cuestiones ambientales y comparándolas con el número de investigaciones enfocadas en cuestión ambiental y social. Todavía existe una gran área de oportunidad en la búsqueda de sustentabilidad y desarrollo de destinos.

Tabla 1. Factores ambientales localizados en los modelos de negocio de turismo sustentable

	Factores ambientales			%
Sustentabilidad	Aprovechamiento de los recursos	Recursos naturales	Alimentación y agricultura	35,7%
			Agua	
			Vegetación	
			Ecosistemas	
	Patrimonio histórico			
	Patrimonio natural	Áreas protegidas		
Calentamiento global	Naturaleza			9,52%
	Valor ambiental			
	Zona marginada			
	Cambio climático			
Impactos ambientales	Problemas ecológicos			21,42%
	Urbanización	Sistemas energéticos	Energía	
		Territorio		
Daño ambiental		Suelo		23,8%
	Educación ambiental			
	Deforestación			
	Desechos			
	Contaminación	Basura		
Desarrollo de destinos		Contaminantes		38,08%
		Residuos sólidos		
	Destinos seguros			
	Destinos libres			
	Desarrollo equilibrado			
	Destinos saludables	Sanidad	Salud	
	Conservación de los entornos	Áreas naturales		
		Flora y Fauna		
		Biodiversidad		

Fuente: Elaboración propia

Discusión

Con base al análisis de la literatura que se realizó, se observó que existe una falta de interés de muchas empresas por contemplar los factores ambientales dentro de sus modelos de negocio. Esta falta de interés se puede visualizar en el escaso número de variables que muchos autores no contemplan dentro de los modelos de negocio.

Existe un registro mayor en consideración con los otros factores económicos o sociales. Lo que genera un hueco en el equilibrio de la dimensión ambiental y por lo tanto un desequilibrio en las empresas en busca de la

sustentabilidad. Surge la necesidad de generar estrategias de innovación y crecimiento en las empresas turísticas sustentables, haciendo una innovación o rediseño de los modelos de negocio sustentable. Como se pudo visualizar en la dimensión ambiental de acuerdo al análisis que se realizó, faltan muchas variables por ser consideradas dentro de los modelos de negocio, algunas de ellas fueron consideradas en menor recurrencia. Existiendo con ello un área de oportunidad y competitividad en la integración de estas variables dentro de los modelos de negocio.

Trabajos futuros

Con base en el análisis realizado, se detectó que, es mayor el número de investigaciones que se enfocan en buscar el equilibrio y la sustentabilidad dentro de sus investigaciones. Por lo que los trabajos futuros a desarrollar, van encaminados a sustentar la innovación en los modelos de negocio de las empresas que integran el sector económico del turismo.

Conclusiones

Con base en lo anterior se pudo detectar que aun con el interés que han mostrado algunos autores por tomar en consideración algunos aspectos ambientales en los modelos de negocio, sin embargo, todavía existe un hueco en esta área. De acuerdo al análisis que se realizó es mayor el porcentaje de aspectos considerados en cuestiones económicas y sociales, por lo cual se tiene un porcentaje menor en cuestiones ambientales, y de estos aspectos ambientales considerados, existe una mayor recurrencia en las investigaciones que está dirigida hacia el análisis de la flora y fauna, la contaminación, y calentamiento global. Sin embargo, todavía existen muchos elementos que, si bien se han empezado a considerar como el desarrollo de destinos, destinos saludables y seguros, entre otros, todavía existe la necesidad de seguir considerando y profundizando en ellos, con la finalidad de tener un equilibrio y aprovechamiento de los recursos.

Por lo anterior, se identifica un área de oportunidad para realizar la innovación de los modelos de negocios en este sector del turismo, con la pertinencia y prioridad del respeto por la naturaleza. Fomentar a la vez el cuidado al medio ambiente, los valores sociales y culturales, promoviendo así la equidad entre la comunidad receptora y el turista. Por lo que las propuestas futuras de innovación en los modelos de negocio, deben priorizar la sustentabilidad y el entorno equilibrado de las dimensiones económicas, medio ambiente y social, atendiendo las consideraciones institucionales.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por abrir las puertas para que se llevará a cabo esta investigación, así como a la colaboración de la Universidad Autónoma de Occidente, por permitir la vinculación que ayudó a la terminación de esta investigación.

Referencias

- [1] F. Bravo, E. Raj y E. Martínez, "La importancia del factor del medioambiental en las estrategias corporativas y de marketing: una aplicación al sector de bienes de consumo", *Cuadernos de estudios empresariales.*, vol 15, pp. 199-224, 2005.
- [2] Morillo M, "Turismo y producto turístico. Evolución conceptos, componentes y clasificación", *Visión Gerencial.*, vol 1. pp. 135-158, 2011. Venezuela.
- [3] E. Pantano, C. Priporas y N, "Stylos|You will like it! 'Using open data to predict tourists' response to a tourist attraction", *Gestión turística.*, vol. 60, pp. 430-438, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.12.0200>.
- [4] A. Santos, "La industria turística y el impacto del covid-19", *Global Journey Consulting.* pp. 1-36, 2020.
- [5] E. Andrade, R. Chávez, R. Espinoza, J. Cornejo y T. Gómez, "Percepción de los impactos del turismo de naturaleza en la costa de Jalisco", *Centro Universitario de la Costa.* 1er edición. Universidad de Guadalajara, 2012.
- [6] A. Velasco, N. Solís y J. Torres, "El impacto territorial del turismo en el desarrollo sostenible: el caso de las regiones de México 2000-2010", *Revista de Turismo y patrimonio cultural.*, vol. 12. no. 2. pp. 357-368, 2014, Oaxaca. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2014.12.025>

- [7] M. Moo y L. Santander, "Las ecoetiquetas: en el turismo sustentable", *El periplo sustentable*, vol. 26. pp. 102-125, 2014, México.
- [8] O. Ruiz, "Turismo factor de desarrollo y competitividad en México". *Centro de estudios sociales y de opinión pública*. pp. 1-36, 2008.
- [9] A. Ramos y G. Fernández, "La educación ambiental: un instrumento para el turismo sustentable", *Hospitalidades.*, vol.10, no. 2, 2013.
- [10] F. Madrid. "La sostenibilidad en la política turística mexicana". *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*. vol.13, no. 6. pp. 1301-1313, 2015. Universidad de La Laguna. España
- [11] S. Reboloso y M. Salcedo M. "Turismo sustentable y certificación: un reto global", *Revista del centro de investigación.*, vol. 7. no. 27, pp.77-91, 2007, Universidad la Salle. México.
- [12] F. San Martin y M. Salcedo "Turismo, sustentabilidad y certificación: un reto global". *Revista del Centro de Investigación*. vol. 7, no. 27, pp. 77-91, 2007. Universidad La Salle Distrito Federal, México
- [13] A. Gessa y N. Toledano. "Turismo, emprendimiento y sostenibilidad en los espacios naturales protegidos. El caso de Andalucía. España", *Estudios y perspectivas en turismo. Centro de investigaciones y estudios turísticos*. vol. 20. no. 5. pp.1154-1174, 2011 Buenos Aires. Argentina.
- [14] C. Santiago, "Turismo sustentable en Bañados del Este (Uruguay)" *Cuaderno virtual de Turismo*, vol. 12, no. 2, pp. 185-197. 2012, Rio de Janeiro Brasil.
- [15] C. Toselli, A. Takáts y L. Davi. "Análisis de la sostenibilidad en emprendimientos turísticos ubicados en áreas rurales y naturales. Estudios de caso en la provincia entre ríos. Argentina". *Cuadernos de Turismo*. vol. 45. pp. 461-489, 2020, <http://doi.org/10.6018/turismo.426211>, España.
- [16] J. López, "Determination of the tourism potential of the birds in the community 23 de noviembre, Naranjal, Ecuador", *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*. vol. 11, no. 2, pp. 163-173, 2015.
- [17] A. Palafox y S. Bolan. "Turismo y mercantilización de la naturaleza en Holbox, -Quintana Roo, México", *Rosa dos Ventos-Turismo e Hospitalidades.*, vol. 11. no. 2. pp.372-385, 2019, <http://dx.doi.org/10.18226/21789061.v11i2p372>.
- [18] D. Delgado, R. Herrera, A. Villacis, A. Moreno, B. Oviedo, J. Cedeño, R. Baque, B. Belezaca y R. López, "Tourist routes as a strategy of sustainable development: The Case of the Cerro Blanco Protected Forest, Guayaquil, Ecuador", *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo.*, vol. 1, no. 2, pp.174-182, 2015.
- [19] E. Vargas, M. Castillo y L. Zizumbo, "Turismo y sustentabilidad. Una reflexión epistemológica", *Estudios y Perspectivas de Turismo.*, vol. 20, no. 3, pp. 706-721, 2011. Argentina.
- [20] M. Blanco y M. Flores, "Turismo sustentable como alternativa de desarrollo en las comunidades de la Faja Petrolífera del Orinoco. Caso: Sector laguna de Mamo, Municipio independencia, Estado Anzoátegui. Venezuela", *Tierra Nueva Etapa.*, vol. 18, no. 44, pp. 105-123, 2012, Venezuela
- [21] M. Salcedo y F. San Martín, "Turismo y Sustentabilidad: Paradigma de desarrollo entre lo tradicional y lo alternativo", *Gestión y estrategias*, vol. 41. 2012. México.
- [22] J. Trujillo, "Casos de investigación turística aplicada en México", *Centro de investigación turística aplicada*, pp. 1-170. 2016. Chiapas.
- [23] J. Pulido y M. Pulido, "Proposal for an Indicators System of Tourism Governance at Tourism Destination Level", *Science Business*, vol. 137, pp. 695-743, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11205-017-1627-z>.
- [24] H. Fu, F. Okumus, F. Wu y M. Köseoglu, "The entrepreneurship research in hospitality and tourism" *International Journal of Hospitality Management.*, vol. 78. pp. 1-12. <http://doi.org/10.1016/j.ijhm.2018.10.005>.
- [25] F. Ortiz, "Los modelos de competitividad de destinos turísticos como referentes para evaluar la competitividad de los pueblos mágicos", *El periplo sustentable*, vol. 39, pp. 387-409, 2019.
- [26] J. Aguirre, "Caída del turismo por la covid-19. Desafío para México y experiencias internacionales" Senado de la república LXIV LEGISLATURA. No. 186. pp. 1-16, 2020.
- [27] G. Vázquez, L. Amador y M. Arjona, "La naturaleza y las características del turismo sostenible", *Rosa dos Ventos*. pp. 1-19, 2012.
- [28] J. Lalangui, C. Espinoza y M. Pérez, "Turismo sostenible, un aporte a la responsabilidad social empresarial: Sus inicios, características y desarrollo". Universidad y Sociedad [En línea], vol. 9, no. 1, pp. 148-153, 2017.
- [29] M. Geissdoerfer, D. Vladimirova y S. Evans, "Sustainable business model innovation: A review", *Cleaner Production.*, pp. 401-416. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.2400959-6526>.
- [30] P. Sánchez, Organizational capability for change and performance in artisanal businesses in México, *Journal of Organizational Change Management*, vol. 33, no. 20, pp.415-431. 2020. <https://doi.org/10.1108/JOCM-06-2018-0157>.

- [31] M. Bartual y M. Pareja, "Participatory management processes for the sustainability of rural development. The case of European Charter for Sustainable Tourism (ECST) in the Ebro Delta, Spain". *Revista Interamericana de ambiente y turismo.*, vol. 11, no. 1, pp. 16-30, 2015.
- [32] M. Bertoni, M. López y J. Testa, "Planning Criteria for the Strategic Plan for Sustainable Tourism Necochea 2013-2023", *Revista Interamericana de ambiente y turismo.*, vol. 11, ni. 2, pp. 136-147, 2015, Argentina.

Diversificación de mercados de exportación para los agricultores de brócoli del estado de Guanajuato

P. Tamayo Contreras.¹, C. Arias Castillo², M. L. Velázquez Morales³, A. Gutiérrez Rodríguez⁴, H. F. Gutiérrez Rangel⁵

^{1,2, 3,4,5} Departamento de Gestión y Dirección de Empresas de la División de Ciencias Económico-Administrativas de la Universidad de Guanajuato. Fraccionamiento el Establo, Guanajuato, Gto. CP. 36250, aeinegocios1@gmail.com; ariasca@ugto.mx; marthavm@ugto.mx; angel0@ugto.mx; y fabiangr@ugto.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

El brócoli considerado con cualidades medicinales, en especial para aquellas relacionadas con la prevención de algunas enfermedades degenerativas; y por contener nutrientes alimenticios, ha sido para el estado de Guanajuato una oportunidad de negocio con una vocación exportadora. El mercado tradicional de este producto es Estados Unidos de Norteamérica, y con menor participación Canadá y Japón. El presente estudio precisa mercados viables para la exportación del brócoli por parte de los agricultores del estado de Guanajuato, México. La investigación es de tipo transversal, utiliza el programa de Trade Map, de igual manera información contemplada en el World freight rates, así como el manejo de percentiles. Los resultados son significativos determinando como mercados potenciales en orden de importancia a Alemania, Francia y Polonia.

Palabras claves: Brócoli, agricultores, Guanajuato, exportaciones.

Abstract

Broccoli considered to have medicinal qualities, especially for those related to the prevention of some degenerative diseases; and because it contains nutritional nutrients, it has been a business opportunity for the state of Guanajuato with an export vocation. The traditional market for this product is the United States of America, with a smaller share of Canada and Japan. This study specifies viable markets for the export of broccoli by farmers in the state of Guanajuato, Mexico. The research is of a cross-sectional type, it uses the Trade Map program, in the same way information contemplated in the World freight rates, as well as the management of percentiles. The results are significant determining as potential markets in order of importance Germany, France and Poland.

Key words: Broccoli, farmers, Guanajuato, exports.

Introducción

No existe una fecha exacta del surgimiento del brócoli, lo que se conoce es que apareció hace miles de años en algunos puntos de la actual Península de Anatolia, Siria y el Líbano. Se cree que en estos territorios se dieron los primeros cultivos planificados, bajo la mano del hombre, en su camino por domesticar las plantas. El brócoli llega a Europa, como resultado del crecimiento del imperio romano. Italia es el primer lugar donde el brócoli florece gracias a la riqueza de su suelo y clima propicios para su cultivo. La pronta aceptación por los pobladores italianos se debe a varias cualidades de esta verdura en las que se destacan el sabor, la versatilidad y propiedades alimenticias [1, 2].

No obstante, aunque el brócoli se convirtió en un alimento tradicional en Italia, no fue conocido en otras regiones de Europa hasta al menos el siglo XV y XVI, siendo en el siglo XX cuando el brócoli fue introducido en otras regiones europeas, siendo acogido con satisfacción, y rápidamente incorporado en las culinarias del viejo continente. No obstante, fue hasta el siglo XX cuando se posicionó en todo el continente europeo. Posteriormente, se dio a conocer en América con bastante aceptación y adaptación al suelo americano, principalmente, en la costa oeste de los Estados Unidos, en donde se convirtió en uno de los cultivos estrella de California gracias a la predilección de la población por esta planta, perteneciente a la familia de las coles de Bruselas [3].

Se considera que el brócoli al ser consumido de manera constante ayuda a prevenir el cáncer, enfermedad degenerativa que ataca a un gran número de la población mundial. De ahí la percepción de que contiene propiedades medicinales. Además, en la gastronomía se utiliza por su rico sabor y propiedades nutricionales ya que contiene calorías, proteínas, grasa, carbohidratos, fibra, calcio, hierro, magnesio, zinc, sodio, potasio, fósforo, vitamina C, y vitamina E, su valor nutricional es muy alto, en 100 gramos de su composición antes indicada se tiene lo siguiente: calorías 38, proteínas 4.4 g, grasa 0.9 g, carbohidratos 1.8, fibra 2.6 g, calcio 56 mg, hierro 1.7 mg, magnesio 22 mg, zinc 0.6 mg, sodio 8 mg, potasio 370 mg, fósforo 87 mg, vitamina C 87 mg, y vitamina E 1.3 mg. De ahí ser considerado un auténtico tesoro nutritivo que brinda múltiples bondades al organismo [4, 5, 6].

El brócoli se describe como una planta de color verde, que cuenta con una gran cantidad de cabezas florales, las cuales puede ser señaladas a su vez como abundantes y carnosas, tiene un tallo central bastante grueso y fibroso, y un conjunto de hojas gruesas. De toda su estructura lo que más se consume son su cabeza floral, lo demás se ha acostumbrado a separarlo y tirarlo como desecho, a pesar de también tienen un valor nutricional [7,8].

El estado de Guanajuato ha encontrado una oportunidad de negocio en el cultivo del brócoli, se le distingue con una vocación como productor desde hace más de 50 años que le ha impulsado a vender el producto más allá de sus fronteras. La visión exportadora de los agricultores guanajuatenses les ha motivado a utilizar mayor cantidad de tierra, por tal razón se encuentran cultivadas 38 mil de las 40 mil hectáreas que se siembran en todo el país. Ante la creciente demanda extranjera de brócoli del total de la cosecha el 90 por ciento se exporta y el resto se destina al mercado doméstico. Por la distribución de las tierras la producción de las plantas congeladoras se ha centrado en las zonas de San Francisco del Rincón, Irapuato, Salamanca, Celaya, Cortazar, Villagrán, Valle de Santiago, San Miguel de Allende, San Luis de la Paz, Doctor Mora y en San Felipe. Por hectárea se producen entre 12 y 15 toneladas, lo que representa un ingreso económico cercano a 60 mil o 70 mil pesos por hectárea [9].

Guanajuato es el estado que más produce brócoli en México, seguido por Puebla, Querétaro, Aguascalientes y Zacatecas. Lo que ha dado ventaja a Guanajuato en comparación con los estados indicados es su programa "Guanajuato, zona premium agrícola de México", mediante este programa se ha conseguido que el brócoli quede limpio de plagas y de cualquier otro contaminante que merme su calidad que se exige en los mercados internacionales.

El gobierno de Guanajuato se ha distinguido por mantener la política de una agricultura protegida, en donde todos los invernaderos tienen que estar certificados en materia de buena apariencia, inocuidad, precio competitivo, vida de anaquel y libres de contaminación en sus productos, para que puedan exportarse a cualquier parte del mundo sin problemas [10].

La cosecha del brócoli con altos índices de calidad permite a cualquier agricultor sea pequeño, mediano o grande de poder exportar, independientemente, de su experiencia en los negocios internacionales. Para fortalecer la presencia de los pequeños productores se utiliza el apoyo de las empresas que ya exportan, siendo aproximadamente 14, su experiencia exportadora apoya el crecimiento económico del estado de Guanajuato mediante la generación de empleos y por medio de arrendamiento de tierras; y en algunos casos la subcontratación de micro productores.

Independientemente, de accionar el aspecto económico se promueve el conocimiento de nuevas tecnologías en el cultivo del brócoli [9].

La cadena de producción y exportación de brócoli da empleo a 15 mil personas, de las cuales 10 mil trabajan en el proceso del vegetal congelado y 5 mil en el brócoli fresco [10]. Los Estados Unidos de América es el mercado más importante para el vegetal guanajuatense con el 98.5%, seguido de Canadá con el 1.4% y Japón con el 0.1% [11], el mercado estadounidense como resultado del alto nivel de ingreso per-capital es el que tiene un mayor consumo. El consumo se enfoca, en su gran mayoría, en el brócoli congelado y muy poco de manera fresca. El consumidor americano está dispuesto a pagar por una caja de nueve kilos entre tres y ocho dólares [9].

El brócoli en la tarifa de la Ley de Impuestos Generales de Importación y de Exportación se ubica en la sección II referente a productos del reino vegetal, dentro de esta sección está en el capítulo 07 de donde se desprende la partida 0704, y posteriormente la sub-partida a nivel del sistema armonizado 0704.10 brécoles ("brócoli") [12].

Tomando en consideración lo anterior la pregunta central de esta investigación es ¿qué mercados internacionales, fuera de los Estados Unidos de América, Canadá y Japón, serán convenientes para los agricultores de brócoli del estado de Guanajuato? Por tanto, el objetivo es determinar nuevos y potenciales mercados de exportación para los agricultores de brócoli del estado de Guanajuato, México.

Metodología

Se utilizó una investigación documental transversal considerando las demandas de todos los países, aunque no importen el brócoli mexicano, mediante el uso de varias variables económicas, con la operación de la herramienta electrónica Trade Map, herramienta digital Datos Macro, World freight rates, el tratado de Libre Comercio con América del Norte, el de la Unión Económica Europea, y los demás suscritos por México. Así como la aplicación estadística de percentiles. Asimismo, se utilizó la herramienta digital Datos Macro consiste en un sitio web que concentra datos e indicadores macroeconómicos de casi todo el mundo y principalmente de países europeos, con un enfoque especial en España.

World freight rates es una herramienta digital en la que se puede calcular el flete marítimo, terrestre, aéreo de una carga contenerizada; de carga tipo Break bulk, que es carga que por su naturaleza no puede ser contenerizada; o de Project cargo, que es el transporte para carga de gran tamaño, peso o valor que no puede ser contenerizada. La herramienta calcula el flete con base en la ciudad/puerto de origen y la ciudad/puerto de destino, la categoría en la que entra la mercancía, el valor de la mercancía en dólares americanos, el tipo de carga Full Container Load (FCL) o Less Container Load (LCL), en caso de ser FCL, el tipo de contenedor por tamaño (20, 40 o 45 pies) y si es refrigerado, además tiene la opción de agregar el cálculo de cargos adicionales, como el de producto peligroso y seguro de la mercancía. Su fiabilidad se basa en las fuentes de sus tarifas, pues dentro de ellas se encuentran las principales organizaciones que concentran tarifas de fletes de todo tipo por todas las rutas posibles en el mundo, ya sea por su tipo de transporte, mercancía o región.

Procedimiento

No se consideró en el análisis al mercado de los Estados Unidos de América, por ser el destino principal en la exportación del brócoli cosechado en el estado de Guanajuato, ni tampoco a Canadá y Japón donde la hortaliza mexicana ya tiene presencia. Lo anterior para poder lograr el objetivo de la presente investigación. Se realizó la clasificación arancelaria del brócoli a nivel sistema armonizado, es decir a nivel sub-partida, siendo 0704.10 con el propósito de determinar a los principales países que demandan esta hortaliza exportada por México.

En Trade Map se escogieron ocho indicadores económicos: cantidad comprada en el último año (en miles de dólares), valor importado a nivel mundial en miles de dólares (en el último año), saldo comercial a nivel mundial en miles de dólares (el último año), valor unitario de la importación a nivel mundial en miles de dólares por unidad de medida, tasa de crecimiento anual a nivel mundial de las importaciones en cantidad los últimos 5 años (en porcentaje), participación en las compras mundiales (en porcentaje), arancel de importación y porcentaje de la tasa de crecimiento en valor a nivel mundial en las importaciones (los últimos 4 o 5 años).

Se consideraron dos variables: PIB (en millones de dólares) y variación PIB anual (en porcentaje). Por parte de World freight rates se contempló la variable fletes y seguros, y de la Secretaría de Economía se contempló la preferencia arancelaria prevista en los Tratados de Libre Comercio de América del Norte, de la Unión Económica Europea y demás países. Además, de igual manera se tomó en cuenta a los países con los que no hay un acuerdo de libre comercio.

A cada indicador económico le fue asignado un rango de ponderación que va de 1 a 10, conforme al valor del indicador económico encontrado en las bases de datos de Trade Map, Datos Macro, World freight rates. Ulteriormente se ubicó en el rango de ponderación antes señalado. En el caso, de que se tuviera un tratado el rango de ponderación aplicado fue 10 y de no tenerlo el rango de ponderación asignado fue 1. (Véase tabla 1)

Tabla 1. Rango de valores para cada indicador económico [13].

Indicadores económicos	Rangos de ponderación									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cantidad comprada en el último año (en miles de dólares)	De 0 a 19,000,000	De 20,000,000 a 30,000,000	De 31,000,000 a 40,000,000	De 41,000,000 a 50,000,000	De 51,000,000 a 60,000,000	De 61,000,000 a 70,000,000	De 71,000,000 a 80,000,000	De 81,000,000 a 90,000,000	De 91,000,000 a 100,000,000	101,000,000 mil en adelante
Valor importado a nivel mundial en miles de dólares (el último año)	De 0 a 9,000,000	De 10,000,000 a 20,000,000	De 21,000,000 a 30,000,000	De 31,000,000 a 40,000,000	De 41,000,000 a 50,000,000	De 51,000,000 a 60,000,000	De 61,000,000 a 70,000,000	De 71,000,000 a 80,000,000	De 81,000,000 a 90,000,000	91,000,000 mil en adelante
Saldo comercial a nivel mundial en miles de dólares (el último año)	Saldo positivo de 71,000,000 en adelante	Saldo positivo de 61,000,000 a 70,000,000	Saldo positivo de 51,000,000 a 60,000,000	Saldo positivo de 41,000,000 a 50,000,000	Saldo positivo de 31,000,000 a 40,000,000	Saldo positivo de 15,000,000 a 30,000,000	Saldo positivo de 0 a 14,000,000	Saldo negativo de 0 a 14,000,000	Saldo negativo de 15,000,000 a 30,000,000	Saldo negativo de 31,000,000 en adelante
Valor unitario de la importación a nivel mundial en miles de dólares por unidad de medida	28 en adelante	De 25 a 27	De 22 a 24	De 19 a 21	De 16 a 18	De 13 a 15	De 10 a 12	De 7 a 9	De 4 a 6	De 0 a 3
Tasa de crecimiento anual a nivel mundial de las importaciones en cantidad últimos 5 años (%)	Saldo negativo de 30 en adelante	Saldo negativo de 0 a 29	Saldo positivo de 0 a 4	Saldo positivo de 5 a 8	Saldo positivo de 9 a 12	Saldo positivo de 13 a 15	Saldo positivo de 16 a 18	Saldo positivo de 19 a 22	Saldo positivo de 23 a 27	Saldo positivo de 28 en adelante
Participación en las compras mundiales (%)	Del 0 al 2	Del 3 al 4	Del 5 al 6	Del 7 al 8	Del 9 al 10	Del 11 al 12	Del 13 al 14	Del 15 al 17	Del 18 al 20	21 en adelante

PIB en millones de euros.	DE 0 a 500	De 501 a 2000	De 2001 a 10,000	De 10,001 a 50,000	De 50,001 a 200,000	200,001 a 5,000,000	De 5,000,001 a 8,000,000	De 8,000,001 a 10,000,000	De 10,000,001 a 15,000,000	De 15,000,001 en adelante
Variación PIB Anual (%)	Del -2 en adelante	Del -0 al -2	Del 0 al 1	Del 2 al 3	Del 4 al 5	Del 6 al 7	Del 8 al 9	Del 10 al 11	Del 12 al 13	De 14 en adelante
Arancel de importación	Del 21 en adelante	Del 19 al 20	Del 17 al 18	Del 14 al 16	Del 11 al 13	Del 9 al 10	Del 7 al 8	Del 5 al 6	Del 3 al 4	Del 0 al 2
Porcentaje de la tasa de crecimiento en valor a nivel mundial en las importaciones (los últimos 4 ó 5 años)	Saldo negativo de 30 en adelante	Saldo negativo de 0 a 29	Saldo positivo de 0 a 5	Saldo positivo de 5 a 8	Saldo positivo de 9 a 12	Saldo positivo de 13 a 15	Saldo positivo de 16 a 18	Saldo positivo de 19 a 22	Saldo positivo de 23 a 27	Saldo positivo de 28 en adelante
Tratado internacional en materia comercial	Sin Tratado									Con tratado
Utilice el costo más económico del flete y seguro en dólares sobre el transporte aéreo, terrestre y marítimo para un contenedor de 20 pies, 20' x 8' x 8'6" (Peso bruto 30 480 kg / 67 200 lb; Carga máxima 28 180 kg / 62 130 lb; Tara 2300 kg / 5070 lb)	De 8000 en adelante	De 5600 a 7999	De 5000 a 5599	De 4600 a 4999	De 4000 a 4599	De 3000 a 3999	De 2600 a 2999	De 2001 a 2599	De 1100 a 2000	De 0 a 1099

Determinado el rango de valor, este se multiplicó por la equivalencia establecida para cada indicador económico siendo las siguientes: cantidad comprada en el último año (en miles de dólares) 0.06; valor importado a nivel mundial en miles de dólares (el último año) 0.08; saldo comercial a nivel mundial en miles de dólares (el último año) 0.08; valor unitario de la importación a nivel mundial en miles de dólares por unidad de medida 0.10; Tasa de crecimiento anual a nivel mundial de las importaciones en cantidad últimos 5 años (%) 0.11; Participación en las compras mundiales (%) 0.10; PIB en millones de euros 0.11; variación PIB Anual (%) 0.09; arancel de importación 0.07; porcentaje de la tasa de crecimiento en valor a nivel mundial en las importaciones (los últimos 4 o 5 años) 0.06; tratado internacional en materia comercial 0.08; y flete y seguro 0.06. Todo con un valor total de 1.

La multiplicación entre el rango de ponderación y la equivalencia establecida es lo que determina el valor relativo por país que se muestran en el apartado de resultados. Posteriormente, se aplicaron los percentiles para definir los tres mercados potenciales mediante el percentil vigésimo quinto, el percentil quincuagésimo y el percentil septuagésimo quinto.

Resultados y discusión

Se observó entre los países estudiados, entre los nueve principalmente, que el mercado del Reino Unido sobresale con un valor relativo de 5.93 y le siguen los mercados de Alemania (5.8), Bélgica (5.79), Países Bajos (5.34), Singapur (5.14), Noruega (5.12), Francia (5.02), Polonia (4.97) y Malasia (3.89). Es de notar que con alguno de los países antes indicados México guarda una relación de un tratado internacional en materia comercial como es el caso del Tratado de Libre Comercio con la Unión Económica Europea, donde el Reino Unido ya no forma parte (Véase tabla 2).

Tabla 2. Valor relativo por los nueve países, como resultados principales, considerando los ocho indicadores económicos de Trade Map, dos indicadores de Datos Macro, uno de World freight rates y otro de la Secretaría de Economía [13].

INDICADORES ECONÓMICOS	REINO UNIDO	ALEMANIA	MALASIA	FRANCIA	PAÍSES BAJOS	POLONIA	BÉLGICA	SINGAPUR	NORUEGA
Cantidad comprada en el último año (en miles)	0.9	0.7	0.5	0.6	0.7	0.4	0.5	0.3	0.3
Valor importado a nivel mundial en miles de dólares (el último año)	0.19	0.1	0.08	0.07	0.09	0.06	0.07	0.08	0.06
Saldo comercial a nivel mundial en miles de dólares (el último año)	0.76	0.74	0.66	0.58	0.64	0.62	0.57	0.6	0.63
Valor unitario de la importación a nivel mundial en miles de dólares por unidad de medida	0.8	0.6	0.4	0.3	0.5	0.3	0.4	0.4	0.5
Tasa de crecimiento anual a nivel mundial de las importaciones en cantidad últimos 5 años (%)	0.53	0.45	0.41	0.42	0.32	0.41	0.32	0.57	0.52
Participación en las compras mundiales (%)	0.19	0.16	0.13	0.12	0.11	0.12	0.9	0.8	0.7
PIB en millones de euros.	1.1	0.68	0.69	0.66	0.66	0.66	0.66	0.99	0.66
Variación PIB Anual (%)	0.36	0.28	0.27	0.27	0.27	0.36	0.27	0.54	0.36
Arancel de importación	0.07	0.7	0.07	0.7	0.7	0.7	0.7	0.07	0.7
Porcentaje de la tasa de crecimiento en valor a nivel mundial en las importaciones (los últimos 4 o 5 años)	0.33	0.19	0.18	0.14	0.13	0.14	0.18	0.24	0.13
Tratado internacional en materia comercial	0.08	0.8	0.08	0.8	0.8	0.8	0.8	0.08	0.08
Flete y seguro	0.62	0.4	0.42	0.36	0.42	0.4	0.42	0.47	0.48
Valor total	5.93	5.8	3.89	5.02	5.34	4.97	5.79	5.14	5.12

Los resultados mostraron que en el percentil vigésimo quinto (P25) con un valor de 5.0, el país que se acercó a este valor fue Polonia con 4.97, en el percentil quincuagésimo (P50) el resultado fue de 5.03, el país cercano al valor fue Francia con 5.02. Y en percentil septuagésimo quinto (P75) el valor fue de 5.8 el país fue Alemania, exactamente, con 5.8. Los mercados potenciales en orden de importancia son Alemania seguido de Francia y Polonia (Véase tabla 3).

Tabla 3. Países potenciales para la exportación de brócoli de los agricultores de Guanajuato [13].

País	Percentil	Valor
Polonia	P25	5.0
Francia	P50	5.03
Alemania	P75	5.8

Trabajo a futuro

Los mercados potenciales para la exportación de brócoli, de acuerdo con los datos arrojados en este trabajo se encuentran en Europa, esto abre nuevas oportunidades de investigación en profundizar sobre los usos y costumbres de los consumidores europeos, los canales de distribución y las regulaciones arancelarias y no arancelarias sobre el brócoli. Y así tener una información más integrada que permita a los exportadores ser más certeros en la diversificación de mercados internacionales y reducir el riesgo en los negocios globales.

Conclusiones

La determinación de un mercado potencial de exportación exige tomar en cuenta muchos factores de todo tipo de índole; económicos, legales, sociales, culturales y mercadológicos. Así como el desarrollo de nuevas tecnologías de información que faciliten el intercambio de datos de manera eficaz y eficiente para realizar un análisis de mayor profundidad de los mercados internacionales. Contar con herramientas tecnológicas en la toma de decisiones y con estudios como el presentado dan nuevas líneas de expansión a los productores de brócoli y así no depender de la compra de algunos países. En suma, Las ventajas de las herramientas electrónicas son importantes para determinar un mercado potencial de exportación de un producto, en este caso, del brócoli del estado de Guanajuato.

El presente estudio permitió encontrar nuevos mercados internacionales para la hortaliza del brócoli siendo los países de Alemania, bajos, Francia y Polonia fuera del tradicional y más significativo para los agricultores guanajuatenses que es el de los Estados Unidos de Norteamérica. Si bien, se ha demostrado que, si hay posibilidades de diversificar los mercados internacionales, también se genera el reto de cambiar la cultura mexicana y prepararse para ello.

Referencias

- [1] Milagros de 30 minutos. (2020). *Woman's Day (Edición de Australia)*, 2047, 70–75.
Morisawa, Toma, Kotaro Hayashi e Ikuo Mizuuchi. 2018. "Asignación de múltiples tipos de tareas a agentes heterogéneos según la teoría de la ventaja comparativa". *Journal of Robotics*, 1 al 18 de mayo. doi: 10.1155 / 2018/1408796
- [2] Traka, MH, Melchini, A., Coode-Bate, J., Al, KO, Saha, S., Defernez, M., Troncoso-Rey, P., Kibblewhite, H., O'Neill, CM, Bernuzzi, F., Mythen, L., Hughes, J., Needs, PW, Dainty, JR, Savva, GM, Mills, RD, Ball, RY, Cooper, CS y Mithen, RF (2019). Cambios transcripcionales en la próstata de hombres bajo vigilancia activa después de una intervención de brócoli rica en glucorafanina de 12 meses: resultado del ensayo controlado aleatorio Efecto del sulforafano en la prevención del cáncer de próstata (ESCAPE). *Revista estadounidense de nutrición clínica*, 109 (4), 1133-1144. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz012>.
- [3] Resor, J., Hegde, AV, Stage, VC y Yeh, C. (2019). Defendiendo el brócoli: exploración de la experiencia de los educadores de la primera infancia (ECE) con educación nutricional. *Revista de investigación en educación infantil*, 33 (3), 414–429.

- [4] Bessler, H. y Djaldetti, M. (2018). El brócoli y la salud humana: efecto inmunomodulador del sulforafano en un modelo de cáncer de colon. *Revista Internacional de Ciencias de la Alimentación y Nutrición*, 69 (8), 946–953. <https://doi.org/10.1080/09637486.2018.1439901>
- [5] Eve, AA, Liu, X., Wang, Y., Miller, MJ, Jeffery, EH y Madak-Erdogan, Z. (2020). Biomarcadores del consumo de brócoli: implicaciones para el metabolismo del glutatión y la salud del hígado. *Nutrientes*, 12 (9), 2514. <https://doi.org/10.3390/nu12092514>.
- [6] Guo, L., Yang, R., Wang, Z., Guo, Q. y Gu, Z. (2014). Efecto del estrés por NaCl sobre los compuestos que promueven la salud y la actividad antioxidante en los brotes de tres cultivares de brócoli. *Revista Internacional de Ciencias de la Alimentación y Nutrición*, 65 (4), 476–481. <https://doi.org/10.3109/09637486.2013.860583>.
- [7] Gliszczynska-Świąło, A., Ciska, E., Pawlak-Lemańska, K., Chmielewski, J., Borkowski, T. y Tyrakowska, B. (2006). Cambios en el contenido de compuestos que promueven la salud y la actividad antioxidante del brócoli después del procesamiento doméstico. *Aditivos alimentarios y contaminantes*, 23 (11), 1088–1098. <https://doi.org/10.1080/02652030600887594>.
- [8] Sherwood, K. y Moyer, L. (enero de 2021). Atajos saludables para hacer verduras en un abrir y cerrar de ojos. *Nutrition Action Health Letter*, 48 (1), 13-15.
- [9] INEGI, (2020). *Agricultura, ganadería y pesca*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/>
- [10] Gobierno del estado de Guanajuato (2020). *Secretaría de Desarrollo Sustentable*. Recuperado de <https://boletines.guanajuato.gob.mx/author/sdes/>
- [11] Trade Map. (2021). *Lista de los países importadores para el producto seleccionado en 2020*. Obtenido de Trade Map: https://www.trademap.org/Country_SelProduct.aspx?nvpm=3%7c%7c%7c%7c%7c6403%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c1%7c1%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1
- [12] Siicex, (2021). *Tarifa de la Ley de Impuestos Generales de Importación y de Exportación*. Recuperada de <http://www.siicex-caaarem.org.mx/>
- [13] Fuente propia.

Impacto económico de la industria turística. Análisis con el modelo input-output - Fletcher en Tlatlauquitepec

Adán Sánchez García¹, Isabel Muñoz Montero², Carlos Muñoz Montero², Martín Neri Suarez²
¹Instituto tecnológico superior de Tlatlauquitepec adan.sanchez@tlatlauquitepec.tecnm.mx, Universidad
Politécnica de Puebla isabeñ.muniz@uppuebla.edu.mx carlos.muniz@uppuebla.edu.mx,
martí.neri@uppuebla.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Este trabajo analiza el impacto económico del turismo en una ciudad pequeña, pues pone en relevancia que esta actividad económica puede mejorar las condiciones de crecimiento y desarrollo locales. De ahí que es importante que las comunidades con potencial turístico lo exploren de formas social y ambientalmente sustentables. La medición del impacto se logra a través de diversas metodologías, aplicándose en este caso concreto el análisis input-output propuesto por Fletcher. Se concluye que el turismo en Tlatlauquitepec es una importante actividad económica que afecta de manera positiva el crecimiento económico local.

Palabras clave: *crecimiento económico, industria turística, modelo input-output, turismo.*

Abstract

This work investigates the economic impact of tourism in a small city, indicating the relevance that this economic activity produces in the conditions of local growth and development. Hence, it is important that communities with tourism potential exploit it in socially and environmentally sustainable ways. Impact evaluation is achieved through various techniques, applying in this case the input-output analysis proposed by Fletcher. We conclude that tourism in Tlatlauquitepec is a significant economic activity that positively affects local economic growth.

Key words: *economic growth, tourism industry, input-output model, tourism.*

1. Introducción

El turismo es una actividad económica de gran importancia. En el año 2000 se movilizaron en el planeta 678 millones de turistas, incrementándose a 950 millones en 2010 [1]. Según la Organización Mundial del Turismo (OMT), se espera que para 2030 ésta cifra supere los 1,800 millones [2]. En México, para 2019 el turismo participó con 8.54% del Producto Interno Bruto (PIB); en el mismo año arribaron a territorio nacional 4.6 millones de turistas internacionales, lo que permitió que el país ocupara el séptimo lugar de la clasificación internacional de la OMT para ese concepto. Durante la emergencia sanitaria de 2020, en México la población ocupada en el sector turístico era de 3.7 millones de personas, lo que representaba el 8% del empleo nacional. El mismo año, el ingreso de divisas por turismo ocupó el lugar diecisiete, con 24,573 millones de dólares [3]. Estos datos permiten comprender la importancia económica del turismo en México. En el caso específico del estado de Puebla se observa que la región posee una gran riqueza cultural y natural. Al interior de la entidad, las ciudades más visitadas son Puebla capital y Tehuacán, seguidas de los nueve pueblos mágicos: San Pedro y San Andrés Cholula, Atlixco, Zacatlán, Chignahuapan, Cuetzalan del Progreso, Xicotepec, Pahuatlán, Huauchinango y Tlatlauquitepec. Cabe señalar que, en Puebla, la recepción de turistas extranjeros ha ganado importancia frente al turismo nacional interno. En Puebla, para 2018, la afluencia turística fue de 14 millones 998 mil visitantes. Como consecuencia se generó una derrama económica de 14 mil 857 millones de pesos; de 2018 a 2019 la afluencia turística creció 4.9% mientras que la derrama se incrementó al 6.7%. En esos años, la ciudad de Puebla se consolidó como la ciudad turística interior más importante en el país, al posicionarse en el primer lugar nacional en el indicador cuartos-noche ocupados promedio. La contribución del PIB turístico al PIB total en Puebla en el año 2018 fue de 8.94%, un valor muy cercano, pero arriba del nacional que fue de 8.54% [4]. Dentro del estado de Puebla, la región nororiente se distingue por contar con dos pueblos mágicos, Tlatlauquitepec y Cuetzalan de Progreso, reconocidos por sus leyendas, historia y recursos naturales. Dada su vocación turística, en 2012 Tlatlauquitepec fue declarado Pueblo Mágico, convirtiéndose en el sexto municipio de la entidad en recibir esta distinción. En 2016 arribaron al municipio 21,963 turistas, 19,900 nacionales (90.6%) y 2,063 extranjeros (9.4%). Con la finalidad de impulsar el desarrollo económico y generación de empleos por parte del gobierno municipal, se ha buscado impulsar las ventajas

comparativas locales. Se pretende incrementar las capacidades locales y la gestión de recursos y proyectos que generen ingresos a los grupos sociales que menos tienen, sin perder de vista el cuidado a la ecología y la preservación del medio ambiente. El presente trabajo se centra en valorar el impacto económico del turismo en el Municipio de Tlatlauquitepec, Puebla. La investigación pretende revelar el potencial que tiene el municipio para convertir al sector turístico en una fuente de generación de ingresos y un eje detonador de crecimiento y el desarrollo económico. Para valorar este impacto a nivel municipal se han formulado las siguientes preguntas que guiarán el proceso de análisis: ¿Cuál es la oferta turística en Tlatlauquitepec? ¿Cuáles son las características de la demanda turística? ¿Cómo impacta el turismo a la venta de productos y servicios conexos? Para estimar los efectos del turismo sobre la economía local se han tomado como referente las relaciones establecidas en el modelo de input-output de Fletcher (1994), tomando como punto de partida la obtención del gasto turístico de los visitantes durante su estancia, a través de los resultados obtenidos de la demanda turística. Se concluye que la metodología input-output permitió analizar el impacto turístico, observándose que en la región el turismo impacta al comercio, al empleo y, en general, al Producto Interno Bruto. Se observan ventajas en primer lugar al crecimiento económico y en segundo lugar al desarrollo, teniéndose en cuenta además que la actividad turística sustentable disminuye la marginación regional.

2. Metodología

El diseño utilizado para el presente estudio es no experimental, pues se trata de observar hechos relacionados con el turismo, además es mixto pues utiliza las metodologías cualitativa y una cuantitativa. Las variables a analizar son los gastos de los turistas y el efecto que tienen sobre los ingresos y la inversión en el municipio de Tlatlauquitepec. La región de estudio es la cabecera municipal de Tlatlauquitepec. El levantamiento de información se realizó en un periodo que duro desde el día 18 de noviembre al 10 de diciembre de 2021. Los agentes involucrados o participantes de la investigación son los turistas, los proveedores de productos y servicios turísticos y el sector público. La investigación implicó una metodología mixta que en su parte cualitativa incluye 22 entrevistas a profundidad a turistas, para conocer datos básicos como edad, sexo, ocupación, e información sobre sus motivaciones, estancia, consumo, gasto, entre otros datos relevantes para el estudio. La población entrevistada se eligió de manera aleatoria entre los turistas dispuestos a ser entrevistados y que contaban con el tiempo suficiente para la actividad. En la parte cuantitativa se aplicaron 21 encuestas a los establecimientos que tiene relación directa con el turismo. Según el Registro Nacional de Turismo, en 2021 había 33 establecimientos para atención al turista del Municipio de Tlatlauquitepec registrados, la muestra representa el 63% del total. Se eligieron establecimientos cercanos al centro del municipio de Tlatlauquitepec por ser el lugar de mayor concentración de visitantes. Esto implicó que el muestreo no fuera aleatorio, pero si congruente con el mayor tránsito de los visitantes. El muestreo de los comercios fue estratificado dividiendo los estratos según el giro del comercio en a) artesanías y productos regionales b) restaurantes y servicios de alimentos y bebidas c) hoteles d) servicios de esparcimiento y diversión y entretenimiento e) Otros. La parte cualitativa de la investigación incluye recorridos de campo y prácticas de observación de la región. Por conveniencia, la aplicación de encuestas a los establecimientos se realizó del 2 al 30 de noviembre del 2021. Cabe señalar que este periodo es considerado de recuperación luego de la emergencia sanitaria por COVID-19. Al igual que en todo el país, la afluencia turística se vio disminuida en 2020 y 2021, pero el análisis en 2021 refleja un momento de recuperación que interesaba conocer. Como parte del trabajo de campo, se realizó una entrevista al Regidor de Turismo del municipio de Tlatlauquitepec. La entrevista se llevó a cabo el 30 de noviembre de 2021.

Para estimar los efectos del turismo sobre la economía local se propone el análisis tomando como punto de partida la obtención del gasto turístico de los visitantes durante su estancia, a través de un análisis de la demanda turística. Para estimar los efectos del turismo sobre la economía se ha aplicado el análisis input-output en diferentes contextos, véase [5], [6], [7], [8], [9] y [10], tomando como punto de partida la obtención del gasto turístico de todos los visitantes durante su estancia. La idea básica del modelo (Figura 1) es que un incremento del gasto turístico interior genera un efecto directo, esto es, un aumento de la actividad para los primeros proveedores de esa demanda, hoteles, restaurantes, entre otros; que a su vez deben de adecuar los pedidos a sus proveedores de insumos, alimentos, bebidas, entre otros, y éstos a los suyos, generando una segunda ronda de transacciones económicas que constituyen los efectos indirectos. Cabe aclarar que, para los fines del presente estudio, únicamente se apreciará el impacto de la demanda turística para los primeros proveedores de esa demanda, que son los hoteles, restaurantes, productos y otros servicios al turista [11], El método input-output expone que un incremento del gasto turístico interior, al ser satisfecho, genera un acrecentamiento de la actividad como efecto directo que impacta a los primeros proveedores de esa demanda (por ejemplo, hoteles y restaurantes). Estos primeros proveedores adecuan los pedidos a sus proveedores (alimentos, bebidas y otros insumos) y éstos proveedores solicitan pedidos a sus propios proveedores. Esta segunda ronda de transacciones económicas constituye los efectos indirectos (esta parte se repite). Cabe señalar que los impactos del gasto turístico interior no se agotan en los efectos directos e indirectos, ya que permiten un aumento en la renta de las

economías domésticas gracias a los sueldos y salarios, lo que genera un mayor gasto privado, con lo que se inicia un nuevo ciclo de efectos que se denominan inducidos.

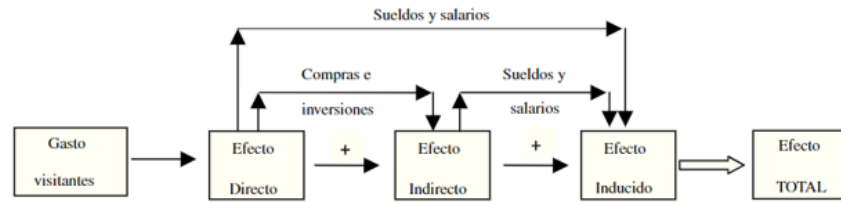


Figura 1. Descripción del Impacto Económico del Turismo con la metodología de Fletcher

3. Resultados y discusión

El municipio de Tlatlauquitepec se encuentra localizado en la Sierra Nororiental del estado de Puebla. La localización y la belleza del paisaje y de la ciudad contrasta con los índices de marginación del municipio. En la Tabla 1 se mencionan los principales atractivos con los que cuenta Tlatlauquitepec. Cabe señalar que Tlatlauquitepec tenía para 2010 una población de aproximadamente 60,000 habitantes. La extensión territorial del municipio es de 294 km². Colinda al norte con Cuetzalan, al oriente con Atempán y Yaonáhuac, al sur con Cuyoaco, y al poniente con Zaragoza, Zacapoaxtla y Zautla. Los resultados que a continuación se presentan permitirán conocer de manera general el contexto turístico de Tlatlauquitepec entre noviembre y diciembre de 2021, siendo esta una de las temporadas de mayor actividad turística en la cabecera municipal, con el 23% de visitantes del año. Los otros periodos de mayor afluencia turística los constituyen semana santa, con 21% de visitantes, vacaciones de verano, con 21%, fines de semana, con 27%, y días feriados, con 8%. Posterior a esta descripción se mostrará el análisis input-output propuesto por Fletcher para conocer el impacto económico del turismo.

Recurso turístico Cultural		Recurso turístico Natural	
1.	Ex Convento de María Asunción	1.	Cerro Cabezón
2.	Capilla de La Soledad	2.	Cueva Olinteutli
3.	Iglesia del Sagrado Corazón de Jesús	3.	Cueva del Cerro Colorado
4.	Santuario del Señor de Huaxtla	4.	La Cueva del tigre
5.	Cerro de Guadalupe	5.	Cerro de San Antonio
6.	Plaza de armas de Tlatlauquitepec	6.	Los llanos de Oyameles
7.	Los Portales	7.	Cascada de Puxtla
8.	Presidencia Municipal.	8.	Cascada de Tenexate
9.	Hueytepec	9.	Manantial de Xiliaco
10.	La Presa de la Soledad		
11.	La Casa de Máquina		

Fuente: Secretaría de Turismo [12]. Tlatlauquitepec, Puebla

Tabla 1. Recursos Turísticos en el Municipio de Tlatlauquitepec

El tipo de atractivos turísticos de Tlatlauquitepec lo conectan con el concepto de turismo sostenible, que a su vez está relacionado con factores inherentes a las prácticas de sostenibilidad aplicadas a la industria del turismo, pero también a factores profundos relacionados con los procesos a cargo de los actores del contexto de la actividad turística y las iniciativas mitigantes de la afectación al contexto que acompañen la formulación de estrategias en dicha industria [13]. El turismo sostenible o sustentable tiene estos tres componentes básicos: a) ambientalmente la actividad turística tiene un bajo impacto en los recursos naturales; b) la actividad no afecta a la estructura cultural y social de la comunidad; c) económicamente contribuye al bienestar económico de la comunidad creando ingresos equitativos y sostenibles [14].

La Demanda Turística

Los resultados de la encuesta aplicada a los turistas a finales de 2021 permitieron conocer que, del total de los encuestados, un 19.0% eran de origen extranjero, provenientes de Europa y Estados Unidos, mientras que el 81.0% eran visitantes nacionales. Entre los visitantes nacionales, el 55.6% eran oriundos del estado de Puebla y el 44.4% eran habitantes de otro estado de la república. El 42.9% fueron hombres y 57.1% mujeres. Los visitantes fueron principalmente empleados y estudiantes, representando un 33.3% en cada caso. El nivel de estudios dominante fue licenciatura con 40.9%, seguido de técnico o bachillerato representando un 36.4%. La edad promedio de los visitantes encuestados fue de 27 años. La Tabla 2 contiene un resumen de las características de los turistas encuestados. En lo referente a las actividades que realizan los turistas en el municipio fueron

principalmente actividades culturales, de convivencia, visita a atractivos naturales, deportes y actividades extremas y negocios. Hay un mayor interés por visitar iglesias, monumentos históricos, cascadas, manantiales y la presa "La Soledad". Los visitantes concurren en grupos promedio de 3.3 personas. El 54.2% arribó a Tlatlauquitepec en autobús y el 45.8 llegó en auto particular. En general, el nivel de ingreso de los turistas es muy bajo, mientras que menos de la quinta parte se pueden catalogar como personas que obtiene un ingreso mensual medio y posiblemente alto. La inversión pública se ha dirigido a crear espacios para la venta de productos turísticos, capacitación a prestadores de servicios, promoción de ferias, participación en ferias turísticas y adecuar espacios de esparcimiento para visitantes. Para 2018, el PIB turístico de Puebla representó el 9.1% del PIB nacional, la participación del PIB Turístico al PIB total estatal fue de 8.94%, similar al nacional. Sin embargo, en el Municipio de Tlatlauquitepec se estima que la contribución del turismo a la producción bruta total es del 10.61%, valor relativamente alto y con un crecimiento sostenido hasta 2019. No obstante, como efecto de la pandemia por Covid19, el turismo nacional y local disminuyó.

Origen	Sexo	Ocupación	Nivel de estudio	Nivel de ingreso
Nacional 81.0%	Mujer 57.1%	Empleado 31.8%	Licenciatura 40.9%	Menos de \$4,308 52.4%
Extranjero 19.0%	Hombre 42.9%	Estudiante 31.8%	Técnico o bachillerato 36.4%	De \$4,309 a \$8,616 4.8%
		Profesionista independiente 13.7%		De \$8,617 a \$12,924 23.8%
		Funcionario público 9.2%	Posgrado 22.7%	Más de \$12,954 19.0%
		Empresario 4.5%		
		Ama de casa 4.5%		
		Desempleado 4.5%		

Tabla 2. Características generales de los visitantes noviembre y diciembre de 2021

La oferta Turística en Tlatlauquitepec

El turismo es reconocido como un sector que tiene un impacto positivo sobre el crecimiento y desarrollo económico [15], entendiéndose crecimiento económico como el impacto positivo al Producto Interno Bruto, mientras que el desarrollo económico se refiere al impacto positivo en la calidad de vida de la población.

Si bien las primeras iniciativas de turismo rural comenzaron en Europa en la segunda mitad del siglo pasado, en la década de los ochentas a escala global se comenzaron a implementar iniciativas locales, nacionales y regionales. Hoy en día el turismo rural es una actividad diversa presente en las estrategias de desarrollo local, cuyas prácticas son diversas, pero beneficiosas para el empoderamiento de las familias rurales, la concientización sobre el cuidado de los recursos naturales y la dinamización comunitaria [16]. A continuación, se muestra las características de la oferta turística de Tlatlauquitepec, para ello se realizaron recorridos de campo y el levantamiento de 21 encuestas, además de la revisión de los datos económicos de la actividad proporcionados por el Ayuntamiento local. En la Tabla 3 se describen las características de los establecimientos de la ciudad. Se debe recordar que la ciudad es pequeña, por lo que el número de establecimientos es compatible con su tamaño.

Ubicación	Giro	Días laborables	Horario de atención	Antigüedad
Centro 66.7%	Artesanías y productos relacionados regionales 28.6%	Todos los días de la semana, 81.0 %	Apertura Entre 07:30 y 10:00 horas	Promedio 16 años
Interior del municipio 33.3%	Restaurantes/ servicios de alimentos y bebidas 23.8%	Abren también días festivos 4.8%	Cierre 18:00 y 23:30 horas	Mínimo 3 años
	Hoteles 9.5%	Martes a domingo 4.8%	En el caso de hoteles, el horario de atención son las 24 horas.	Máximo 58 años
	Servicios de esparcimiento/diversión/ entretenimiento 9.5%	Solo fines de semana 4.8%		
	Otros (vinos artesanales, dulces y diferentes conservas de frutas 28.6%			

Tabla 3. Características generales de establecimientos de bienes y servicios al turista.

Respecto a la clasificación por tamaño de las empresas, se tiene que 6 son de reciente creación (menos de 5 años), 11 son de mediana antigüedad (de 6 a 20 años), 2 son antiguas (De 21 a 40 años) y 2 son muy antiguas (más de 40 años). El 90.5% de los establecimientos son microempresas, como se muestra en la Tabla 4:

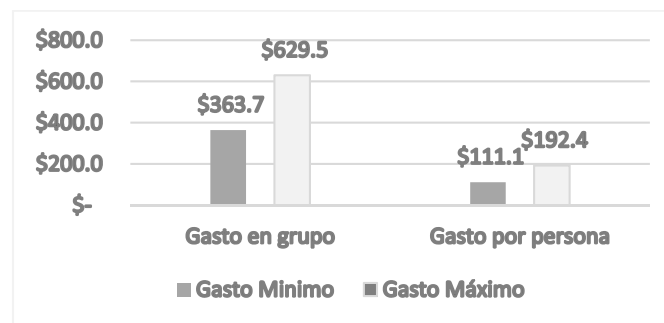
Tamaño de Empresa en el sector servicios			
Tamaño*	Micro	Pequeña	Mediana
Clasificación	0 a 10	11 a 30	31 a 100
Número	19	2	0
Porcentaje	90.5%	9.5%	0%

*El criterio de estratificación se basó en: Censos Económicos (2019). Micro, pequeña, mediana y gran empresa: estratificación de los establecimientos: Censos Económicos 2019/Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI, c2020

Tabla 4. Estratificación de Unidades Económicas por Número de Trabajadores

Análisis input-output con la metodología de Fletcher para conocer el impacto económico del turismo desde la demanda.

El método input-output se basa en el análisis del gasto turístico, es decir, el gasto realizado por los turistas durante su visita. Entre los encuestados en el periodo de trabajo de campo se observa que el gasto diario en alimentos en grupo oscila entre \$363.7 y \$629.5. El gasto diario en alimentos individual va de \$111.1 a \$192.4. Usualmente 8 de cada 10 visitantes consume sus alimentos en restaurantes, restaurante bar y cafeterías. En la Gráfica 1 es posible observar el consumo en alimentos de los visitantes. Es interesante señalar que el 86% de los visitantes consumieron alimentos en los restaurantes locales. Siendo adultos la mayor parte de los turistas, 82% asistieron también a un restaurante bar. También se observó que el 81% de los turistas visitó alguna cafetería local y 18% prefirieron comprar víveres durante su visita. Estos datos permitieron observar que los turistas prefieren alimentarse en los negocios locales, lo cual concuerda con la metodología Input-Output ya que el gasto turístico en restaurantes, cafeterías y bares impacta a los proveedores de estos negocios. En Tlatlauquitepec, el número de clientes atendidos en un día normal (no en temporada alta y según informaron los dueños de los establecimientos encuestados) es en promedio de 231, y en temporada alta asciende a 805. Además de la derrama económica destinada al consumo de alimentos se observa la ocupación hotelera y la compra de artesanías. El 34% de los encuestados se hospedó en un hotel local. El precio promedio pagado por día de alojamiento en 8 hoteles de la ciudad que van de 1 a 3 estrellas fue (entre los turistas encuestados) de \$956 pesos mexicanos. Respecto a la opinión de los turistas sobre el alojamiento, 75% calificó el servicio de muy bueno a excelente, mientras que 25% considera que es bueno. Un grupo de cinco turistas gastó en una noche de alojamiento \$4,780. Las artesanías que adquieren los turistas son prendas de vestir bordadas con hilo, estambre y shakira, mermeladas, conservas, botanas y vinos, gastando en promedio 400.00 en compra de artesanías.



Gráfica 1. Gasto diario aproximado en alimentos

La opinión de los turistas sobre la calidad de los servicios es que se trata de un Municipio con espacios atractivos para el turismo, la ciudad es pequeña pero típica y única, con tradiciones y muy hermosa. Los productos, tales como los vinos y las artesanías son únicos. Los establecimientos que prestan servicios al visitante son atendidos por personas amables. En los restaurantes el menú es variado y exquisito. Los hoteles son espacios tranquilos. Las actividades recreativas y de aventura al aire libre sirven para bajar el estrés. Los visitantes refirieron que la experiencia es verdaderamente mágica. Los turistas aseguran que los productos y servicios que ofrecen los proveedores son de buena calidad y con precios accesibles. Por último, hay una percepción que se están realizando proyectos importantes para el turismo y de impacto para la economía. El análisis permite estimar que el gasto turístico promedio por persona fue de mil pesos diarios. Por tanto, se espera que la derrama económica turística de un día en temporada baja en el

municipio sea de aproximadamente 200 mil pesos, incrementándose en forma importante en temporada alta. Esta derrama se traduce en un impacto para los primeros proveedores de las empresas de atención al turista, tal es el caso de alimentos, bebidas, papel para servilletas y de baño, e insumos básicos que se adquieren en las tiendas locales. En un segundo lugar beneficia a los proveedores de estas tiendas, los cuales se consideran efectos indirectos. Se trata de 11 tiendas Diconsa, un tianguis, un mercado municipal, varios centros de acopio de granos, frutas y forrajes. También existe en el municipio una Bodega Aurrera, una tienda Coppel, una tienda Electra, cadenas Oxxo y varias farmacias. El alcance de los impactos del gasto turístico interior en Tlatlauquitepec, si bien tiene efectos directos e indirectos, afecta de forma positiva la renta de las economías domésticas en sueldos y salarios, que a su vez se verán reflejados en un nuevo ciclo de efectos denominados inducidos. Recordemos que la población de Tlatlauquitepec es de 60 mil habitantes. El índice de marginación es de 0.33, que le coloca en un nivel de marginación preocupante, ubicándose en el lugar 114 de 217 municipios en el Estado de Puebla. Este dato permite entender la enorme importancia y la necesidad de impulsar el turismo en el municipio para dinamizar el crecimiento económico y que este a su vez permita el desarrollo regional. Las características del atractivo regional, la belleza paisajística, la cultura, la arquitectura y la amabilidad de las personas convierten a la ciudad en una pequeña ciudad turística. Sin embargo, será necesario considerar estrategias de impulso al turismo que favorezcan la conservación del patrimonio natural y cultural. La región es eminentemente agrícola. Es importante subrayar la relación entre agricultura y turismo sobretodo en regiones que pretenden desarrollarse o potenciarse, incluso en regiones donde se observa abandono de la actividad agrícola. Es en estas regiones donde emergen ciertas potencialidades como la gastronomía tradicional y la revalorización de los productos endógenos que marcan la identidad de dichos territorios, algunos, definidos por su carácter ecológico y sostenible, en línea con los postulados que defienden la economía verde y circular [17]. La economía circular es un modelo de producción y consumo que favorece al medio ambiente al renovar, reciclar, ahorrar, compartir, reutilizar recursos y darles un valor añadido. Busca además alargar la vida de los productos, cambiando el modelo de usar, desechar y tirar, para tratar de imitar el sistema circular del ciclo biológico de la naturaleza, optimizando los recursos y disminuyendo los residuos. En el ámbito turístico este modelo se representa con el turismo circular que permite establecer estrategias de turismo sostenible y respetuoso con el medio ambiente y la sociedad, sin dejar de ser competitivo [18]. Otro aspecto importante a considerar en Tlatlauquitepec es la digitalización en términos organizacionales como operacionales de la oferta turística. El concepto de Turismo Inteligente o Smart Tourism se enfoca en la necesidad de incorporar al turismo en las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) [19].

4. Trabajo a futuro

Para este trabajo la información recabada no permite desarrollar un análisis completo input-output de la actividad económica de Tlatlauquitepec y su sector turístico, pero permite analizar y relacionar la demanda de los turistas, la oferta turística, el gasto de visitantes y el impacto del sector. Un trabajo posterior incluirá el impacto al empleo, los salarios obtenidos por los trabajadores en el sector y el número de familias beneficiadas con la industria turística local.

5. Conclusiones

Un reto global para el turismo reside en la adaptación de los mercados ante los nuevos estilos y formas de vida que ha impuesto la pandemia por COVID19, la incertidumbre ahora es el rasgo característico en el mundo, no estamos exentos de padecer eventos inesperados por temas de salud, cambio climático, conflictos bélicos, entre otros. Se prevé una tendencia hacia un viajero individualista, o acompañado de un pequeño grupo, que provocará la fragmentación del mercado turístico en subconjuntos de experiencias únicas. En México, los planes y programas de turismo locales están totalmente alineados a los objetivos nacionales; se percibe un enfoque social, impulsor del crecimiento y desarrollo económico equilibrado de los destinos turísticos, diversificación de mercados y el fomento al turismo sostenible. Tlatlauquitepec ha conseguido estar dentro de los grupos de ciudades de Puebla con mayor afluencia de visitantes. La metodología input-output es descriptiva y de inferencia estadística [20]. El modelo Input-Output propuesto por Fletcher ha permitido describir, analizar y demostrar el impacto económico del turismo en una pequeña ciudad serrana. El modelo permite justificar ante la sociedad, el Estado y la academia, la importancia de la industria turística local y del impulso a las acciones para incrementar el turismo. En la actualidad se percibe una derrama aproximada de 200 mil pesos, los cuales favorecen a los empresarios de la región, a sus proveedores y a sus trabajadores, generándose un efecto cascada que impulsa el crecimiento de la oferta turística. Si bien la ciudad tiene un margen en cuanto al número de turistas que se puede permitir sin generar malestar urbano a la población o afectación al patrimonio natural, cultural y edificado, por el momento no se ha observado un límite en cuanto a la posibilidad de crecimiento del sector que favorezca la disminución de la marginación de la población.

Referencias

- [1] J. Luis Nieto González, I. María Román Sánchez, D. Bonillo Muñoz, y N. Paulova, "El Turismo a Nivel Mundial," *International Journal of Scientific Management and Tourism*, vol.2, no. 1, pp. 129-144, 2016. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5665915>
- [2] World Tourism Organization (2011, October 10), Tourism Towards 2030/Global Overview. [Online] DOI: <https://doi.org/10.18111/9789284414024>.
- [3] SECTUR (2021, 23 de agosto). Tercer Informe de Labores 2020-2021. Secretaría de Turismo. [Online] <https://www.gob.mx/sectur/documentos/secretaria-de-turismo-tercer-informe-de-labores-2020-2021>.
- [4] INEGI Datatur, (2020). Estadísticas de turismo con base en los resultados de los Censos Económicos 2019. [Online] <https://www.datatur.sectur.gob.mx/SitePages/CensosEconomicos.aspx>.
- [5] J. E. Fletcher, "Input-Output Analysis and Tourism Impact Studies," *Annals of Tourism Research*, vol. 16, no. 4, pp. 514-529. 1990. [https://doi.org/10.1016/0160-7383\(89\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0160-7383(89)90006-6)
- [6] J. Fletcher, "Input-output analysis", en *Tourism marketing and management handbook, second edn.*, S. Witt y L. Moutinho, Eds. UK, Prentice-Hall International, 1994, pp. 480-484.
- [7] B. Archer y J. Fletcher, "The economic impact of tourism in the Seychelles," *Annals of Tourism Research*, vol. 23, no. 1, pp. 32-47, 1996. [https://doi.org/10.1016/0160-7383\(95\)00041-0](https://doi.org/10.1016/0160-7383(95)00041-0)
- [8] E. Horváth y D. C. Frechtling, "Estimating the Multiplier Effects of Tourism Expenditures on a Local Economy through a Regional Input-Output Model," *Journal of Travel Research*, vol. 37, no. 4, pp. 342-332, 1999. <https://doi.org/10.1177/004728759903700402>
- [9] J. L. Crompton, S. Lee, y T. J. Shuster, "A Guide for Undertaking Economic Impact Studies: The Springfest Example," *Journal of Travel Research*, vol. 40, no. 1, pp. 79-87. 2001. <https://doi.org/10.1177/004728750104000110>
- [10] T. J. Tyrrell y R. J. Johnston. "A Framework for Assessing Direct Economic Impacts of Tourist Events: Distinguishing Origins, Destinations, and Causes of Expenditures." *Journal of Travel Research*, vol. 40, no. 1, pp. 94-100, 2001. <https://doi.org/10.1177/004728750104000112>.
- [11] L. Valdés Peláez, R. Aza Conejo, y J. Baños Pino, "Impacto económico del turismo en una región: el caso de Asturias," *Cuadernos de Economía*, vol. 33, no. 91, pp. 183-208, Enero 2010. [https://doi.org/10.1016/S0210-0266\(10\)70062-5](https://doi.org/10.1016/S0210-0266(10)70062-5)
- [12] Secretaría de Turismo (2014). Tlatlauquitepec, Puebla. Pueblos mágicos. [Online] <https://www.sectur.gob.mx/gobmx/pueblos-magicos/tlatlauquitepec-puebla/>
- [13] S. Pareti, C. Almanza y M. Córdova, *Ecoturismo y turismo sostenible como conceptos complementarios: una perspectiva de gestión de organizaciones y recursos*. Pontificia Universidad Católica del Perú, pp. 9, 2022. [https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/183253/Serie%20de%](https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/183253/Serie%20de%20)
- [14] A. Echeverri Rubio y J.A. Vieira Salazar, "Tendencias en la investigación del turismo sostenible en Latinoamérica y el Caribe: un análisis bibliométrico," *Revista Universidad y Empresa*, vol. 24, no. 42, pp. 1-30, 2022. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.11131>.
- [15] J. G. Brida, M. A. R. Brindis, y M. L. Mejía-Alzate, "The contribution of tourism to the economic growth of Medellín – Colombia," *Revista de economía del Rosario*, vol. 24, no. 1, pp. 1-23, Jan. 2020. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/economia/a.8926>
- [16] K. Min, "Turismo cultural rural: cuestiones epistemológicas," *Universidad y Sociedad*, vol. 14, no. S1, pp. 264-272, feb. 2022. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2629>.
- [17] D. I. Rodrigues Ferreira y J. M. Sánchez-Martín, "La función de las áreas agrícolas en el debate epistemológico sobre el turismo rural, el agroturismo y el agroecoturismo," *Revista de Geografía Norte Grande*, vol. 81, pp. 235-261. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022022000100235>
- [18] J. E. Fletcher, "Input-output analysis and tourism impact studies," *Annals of Tourism Research*, vol. 16, no. 4, pp. 514-529, 1989. [https://doi.org/10.1016/0160-7383\(89\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0160-7383(89)90006-6). [https://doi.org/10.1016/0160-7383\(89\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0160-7383(89)90006-6)
- [19] A. Carballido y A. Guevara-Plaza, "The smart destination concept in tourism research. A systematic review of the literature for its definition and normalization," *Cuadernos de Turismo*, vol. 186, no. 1. Universidad de Murcia, pp. 545-548, 01-Dec-2021.
- [20] C. Franco González, A. Ochoa, & D. Carrasco, "Análisis de la industria turística en el Ecuador bajo el modelo Input-Output, 2015-2018," *Compendium: Cuadernos de Economía y Administración*, vol. 8, no. (2), pp. 250-263. 2021. doi:10.46677/compendium.v8i2.889

Mejoramiento del proceso de barrido en las rutas 7 y 8 del Municipio de Orizaba, Ver.

Ing. Stephanie García Juárez¹, M.C. Gabriela Cabrera Zepeda², Dr. Fernando Aguirre y Hernández³,
Dr. Eduardo Roldán Reyes⁴, Dr. Guillermo Cortes Robles.⁵

¹ Estudiante de Maestría en Ingeniería Administrativa del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, stephaniegi@outlook.com

² División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, gabriela.cz@orizaba.tecnm.mx

³ División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, fernando.ay@orizaba.tecnm.mx

⁴ División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, eduardo.rr@orizaba.tecnm.mx

⁵ División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, guillermo.cr@orizaba.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

La siguiente investigación se realizó en el H. Ayuntamiento de Orizaba, Ver. con la finalidad de aportar una alternativa pertinente en el servicio de limpia pública, proponiendo a través de la simulación en SIMIO una mejora en el proceso de barrido en dos rutas geográficas de la ciudad, que permitan minimizar los costos en función de la mano de obra asociada a los turnos y horarios de los trabajadores, así como los recursos materiales empleados, impactando favorablemente en la gestión económica de la coordinación del limpia pública. La investigación se desarrolló en tres etapas, iniciando con el análisis de la información, la cual permitió conocer, documentar las actividades y diseñar el proceso de barrido, la siguiente etapa consistió en la evaluación en simulación del proceso de barrido, construyéndose en el software SIMIO, validando el modelo con los datos recolectados en la etapa 1. La etapa final de la metodología propone la alternativa de mejora validándola a través de una prueba piloto.

Palabras clave: barrido, simulación, recursos disponibles, conciencia sustentable.

Abstract

The following research is carried out in order to develop a scanning model that allows the workforce to become more efficient, reducing the scanning time on the routes and taking advantage of the resources available, facilitating decision-making for the relevant authorities, using the SIMIO simulation programme

The work was carried out in three stages, the analysis of the initial information, which allowed us to study the scanning process, analyzing the activities carried out and how they are carried out, the next stage was the simulation evaluation of the scanning process, where he carried out the program at SIMIO to observe the behavior of the data collected in stage 1, finally the establishment of new alternatives in the scanning process, where it was sought to offer alternatives for the form of sweeping that is established.

Key words: Sweep, simulation, available resources, sustainable awareness.

Introducción

Actualmente la contaminación y el mal manejo de los RSU representa un problema muy fuerte a nivel mundial, ya que el no contar con un sistema que permita una recolección apta puede traer consecuencias graves para la salud pública. Es por ello que diversos países han buscado generar nuevas formas de incentivar a la población a crear una conciencia de reciclaje y buscar que se generen menos residuos. México es uno de los países que más problemas de contaminación en las calles tiene, pues muchas personas no tienen la cultura ambiental de recoger o depositar la basura en su lugar. Es por ello que algunos gobiernos de los estados han buscado crear

programas que fomenten esa cultura e involucren a los ciudadanos. Un ejemplo de esto es el Municipio de Orizaba, que busca la creación de una conciencia sustentable, en base a las acciones y programas que ha desarrollado [1]. El programa de barrido y limpia pública, permite ofrecer a los habitantes del Municipio transitar por las calles sin contaminantes, ofreciendo espacios de recreación limpios, en donde los niños puedan jugar libremente [2]. Estos programas hacen que la calidad de vida de los habitantes sea mejor, al favorecer los servicios enfocados a la conservación, restauración y aprovechamiento de los ecosistemas y recursos naturales disponibles. Por ello, con este proyecto se busca ofrecer una alternativa de barrido que permita utilizar de forma eficiente los recursos económicos que se tienen disponibles para esta actividad. De esta forma la con los ahorros obtenidos la administración pública del ayuntamiento podrá generar otros proyectos canalizados hacia la promoción de una cultura sostenible en los ciudadanos.

El Municipio de Orizaba, se encuentra fraccionado geográficamente en 13 rutas, en las cuales se realiza el proceso de barrido de forma manual, con una plantilla de 54 colaboradores y 4 supervisores, en dos diferentes turnos; matutino y vespertino, trabajando en los siguientes horarios; matutino de 4:00 AM a 1:00 PM y vespertino de 1:00 pm a 8:00 pm.

Metodología

El trabajo de investigación se realizó en base al proceso de barrido de las rutas 7 y 8 que tiene el Departamento de Limpia Pública y Ecología durante la Administración 2022-2025, analizando principalmente la forma de barrido denominada “ala de avión” la cual se aplica desde hace años en la vía pública, aceras, así como también los parques y áreas verdes. El principal objetivo de este proyecto es minimizar los tiempos de barrido dentro de las rutas 7 y 8 buscando tener un impacto económico que ayude al Departamento de Limpia Pública a mejorar el proceso, así como también disminuir los costos [3].

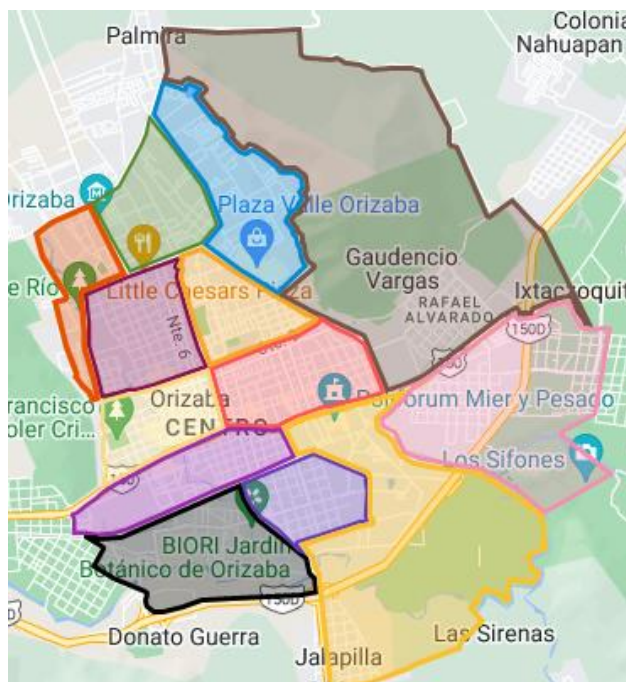


Figura 1. Rutas de barrido del Municipio de Orizaba. H. Ayuntamiento del Municipio de Orizaba.

Utilizando el software SIMIO se realizó la simulación del sistema real del proceso de barrido dentro de las rutas 7 y 8, las cuales abarcan todo el centro histórico del Municipio de Orizaba. Al realizar el análisis se encontraron áreas de oportunidad y se evaluaron estrategias que permitieron la mejora de los tiempos de barrido en dichas rutas.

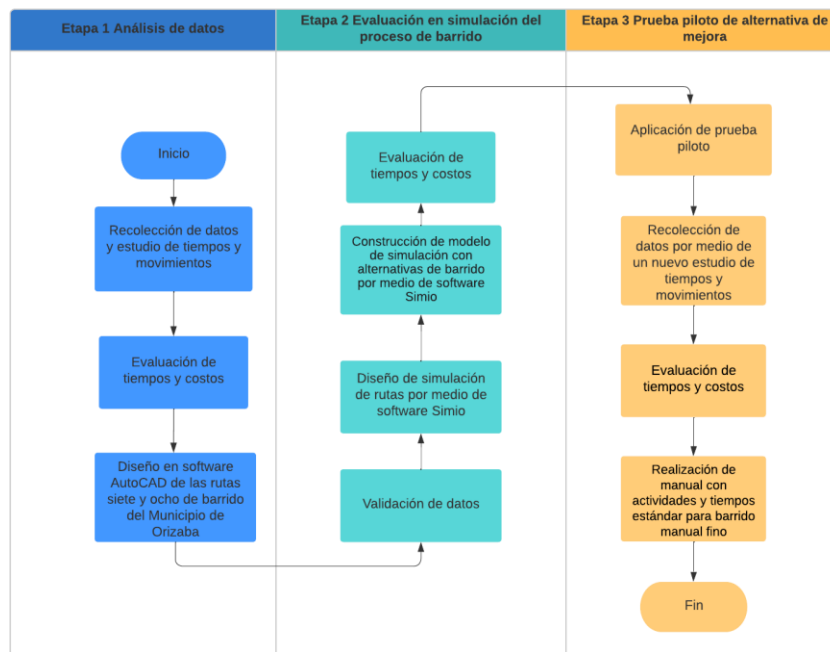


Figura 2. Metodología. Elaboración propia.

La figura 2 representa el diagrama de flujo de la metodología empleada, que se encuentra basada en la metodología de simulación propuesta por Law y Kelton, fundamentada en el método científico [4], la cual se ajustó agregando pasos para la ejecución de esta investigación.

Etapa 1 Análisis de la información inicial

Recolección de datos y estudio de tiempos y movimientos: Dentro de la primera etapa se realizaron las siguientes actividades; iniciando con la recolección de datos que se llevó a cabo por medio de un estudio de tiempos y movimientos de las rutas 7 y 8, el cual permitió analizar más a fondo las actividades que se llevan a cabo dentro del proceso de barrido manual. El estudio de tiempos y movimientos tiene como principal objetivo eliminar o mejorar las tareas innecesarias que pueden tener afectar directa e indirectamente la productividad y calidad del proceso [5]. Ya que esta herramienta permite analizar los procesos, desglosándolos para determinar cuáles son las actividades, tareas o pasos específicos para completar el proceso final [6].

Evaluación de tiempos y costos: Posteriormente se realizó una evaluación de los costos que fueron proporcionados por el Departamento de Limpia Pública, para analizar las mermas económicas que actualmente tiene el proceso, esta tabla se puede observar en la figura 4, Merma económica.

Diseño en Software AutoCAD de las rutas siete y ocho de barrido del municipio de Orizaba: Se realizó el diseño de las calles del Municipio de Orizaba en formato DWG, utilizando el programa de AutoCAD, ya que este software permite crear modelos en 2D y 3D, teniendo una mejor precisión para trabajar con los planos de forma más exacta [7]. Este software es compatible con el software SIMIO, ya que permite exportar el plano, generando el layout para ser utilizado como base para la construcción del modelo. El plano abarca las rutas 7 y 8 de barrido, identificando el punto de concentración del inicio de la jornada laboral de los trabajadores, mismo que se ubica en la calle poniente 10 número 440, Lourdes, en el Municipio de Orizaba, y considera las calles oriente 9, oriente 7, oriente 5, oriente 3, la calle Colón, la oriente 2 y oriente 4.

Etapa 2 Evaluación en simulación del proceso de barrido

Validación de datos: En la etapa dos se realizó el análisis de los datos obtenidos del estudio de tiempos y movimientos, a través del software MINITAB, el cual es una herramienta estadística, con una interfaz de fácil manejo, y que se encuentra enfocada en el análisis de datos y la mejora de los procesos implementando herramientas de control de calidad y SIX SIGMA [8]. Se consideró la variable de tiempo en relación con la variable de distancia, a fin de analizar la distribución de probabilidad a la que se ajustaba dicha variable. En primera instancia se obtuvieron los datos de estadísticas descriptivas, teniendo un total de 265 datos, con un mínimo de 19.02 segundos y un máximo de 15.083 minutos, lo que representa el tiempo que tardan los operadores en barrer un metro lineal de las rutas.

Estadísticas

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Tiempo total	265	0	4.208	0.158	2.574	0.317	2.492	3.717	5.367	15.083

Figura 3 Estadísticas descriptivas. Elaboración propia.

Se aplicó una prueba de identificación de la distribución individual para identificar la distribución de los datos, como se puede observar en la figura 4, la gráfica de probabilidad para la variable tiempo total de acuerdo a la prueba de bondad de ajuste, se ajusta a una distribución normal.

De acuerdo al valor la prueba de normalidad Anderson-Darling (AD) que se puede observar en la gráfica, con un total de 5.524, es mayor al nivel de significancia de .005, por lo tanto, se puede afirmar que los datos siguen la distribución normal.

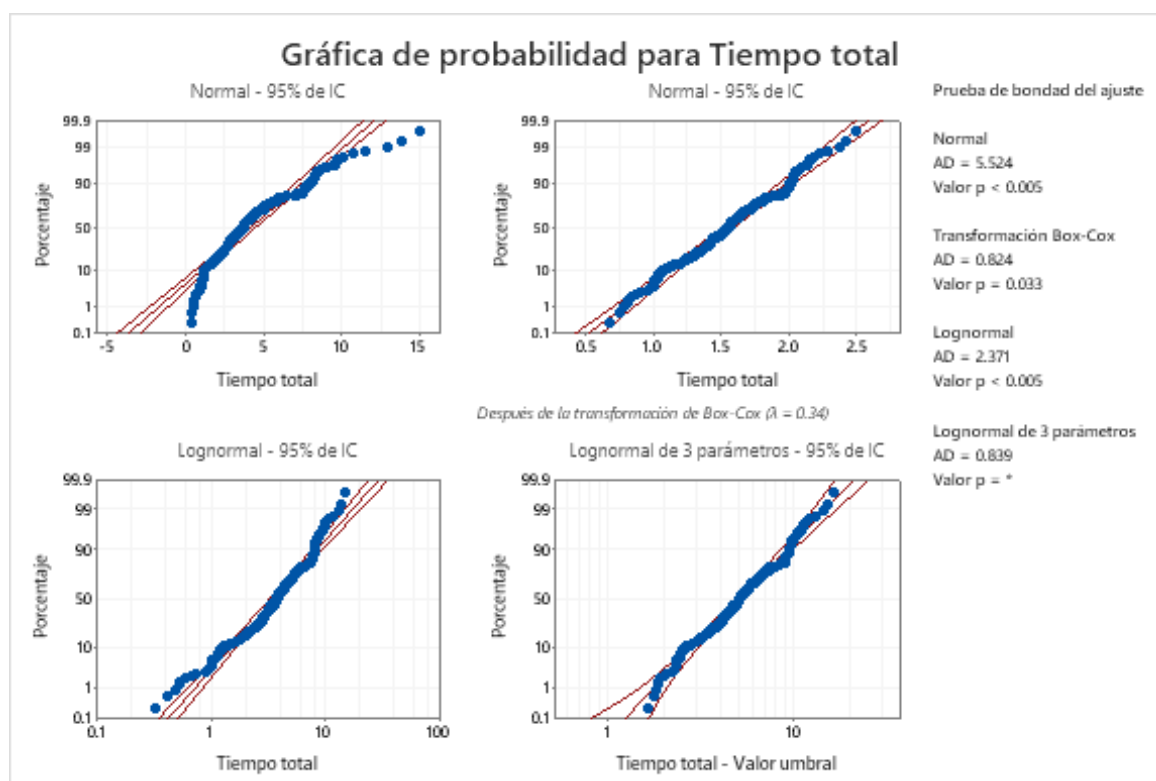


Figura 4. Prueba de identificación de distribución. Elaboración propia.

Diseño de simulación de rutas por medio de software SIMIO: En esta fase se inició la construcción del modelo de simulación en SIMIO, el cual es un software de modelización, simulación y animación 3D de flujos de procesos que permite modelar el comportamiento de sistemas logísticos, industriales y de servicios, es decir de un sistema real o imaginario, y que para el caso de estudio simuló el proceso de barrido de las rutas establecidas [9]. El diseño que se utilizó para este modelo fue el layout de AutoCAD, recreando el camino que siguen los operadores.

Construcción de modelo de simulación con alternativa de barrido: En esta etapa se propone la construcción del modelo de simulación con una nueva forma de barrido orientada a disminuir los tiempos que se realizan los colaboradores durante el recorrido de las rutas. A la alternativa propuesta se le denominó “forma 7” de barrido, la cual además con la autorización y facilidades del Departamento de Limpia Pública se implementará como prueba piloto.

Resultados

Por medio del estudio de tiempos y movimientos se obtuvieron los resultados que se pueden observar en la figura 5. En donde se tiene un tiempo mínimo de recorrido total de 8 horas y 25 minutos, mientras que el tiempo máximo es de 9 horas con 21 minutos. Esta tabla permitió realizar un análisis profundo para establecer los tiempos muertos y efectivos.

Calles	Tiempo de recorrido	Demoras	Tiempo de ocio	Tiempo efectivo	Distancia
Oriente 9	8:25:12	1:08:28	38.28	7:16:44	7783.66
Oriente 7	8:55:49	01:25:44	55.44	7:30:05	9000.63
Oriente 5	8:53:14	0:40:14	10.14	8:13:00	6238.1
Oriente 3	9:21:00	01:12:22	42.22	8:08:38	8273.09
Colón	8:38:45	01:06:40	36.4	7:32:05	7832.66
Oriente 2	9:07:25	01:01:43	31.43	8:05:42	7803.87
Oriente 4	9:04:09	0:57:30	27.3	8:06:39	12132.44
Promedio	8:55:05	1:04:40	34.46	7:50:25	8437.78

Figura 5. Tiempo de recorrido de las calles. Elaboración propia

Considerando el estudio de tiempos y movimientos, fue posible obtener el diagrama de flujo del proceso, el cual se puede observar en la figura 6. Este diagrama representa las actividades que realiza el operador desde que llega al área base de trabajo, hasta que termina el barrido manual de la ruta asignada.

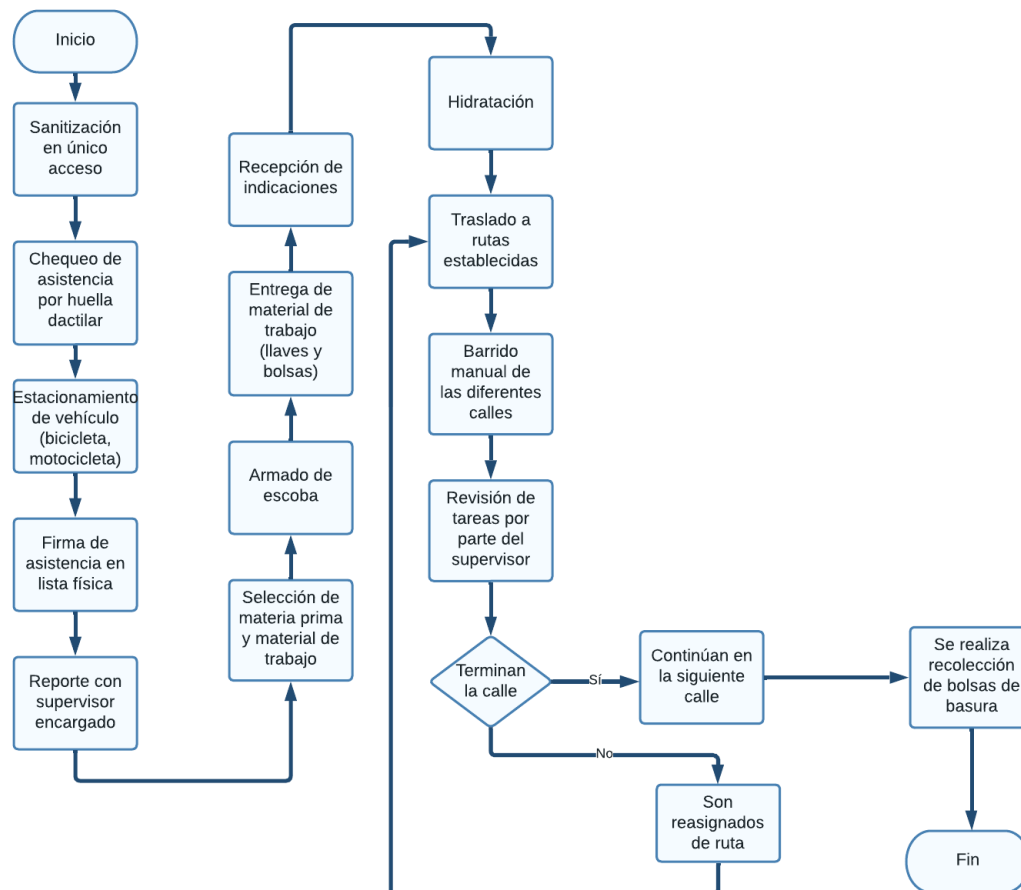


Figura 6. Diagrama de proceso de barrido manual. Elaboración propia.

En la figura 7 se presenta el análisis de los tiempos muertos contra el tiempo efectivo, encontrándose que se tiene una merma económica al mensual de \$5,441.70 pesos, lo que equivale al sueldo de un operador

promedio. Esto indica la pérdida económica que se tiene en el proceso de barrido, siendo un área de oportunidad de mejora para el Departamento de Limpia Pública.

Calles	Tiempo de recorrido	Demoras	Tiempo de ocio	Tiempo efectivo	Distancia	Demoras en minutos	Costo por demoras	Merma económica
Oriente 9	8:25:12	1:08:28	38.28	7:16:44	7783.66	68.28	\$ 64.18	\$ 35.98
Oriente 7	8:55:49	01:25:44	55.44	7:30:05	9000.63	85.44	\$ 80.31	\$ 52.11
Oriente 5	8:53:14	0:40:14	10.14	8:13:00	6238.1	40.14	\$ 37.73	\$ 9.53
Oriente 3	9:21:00	01:12:22	42.22	8:08:38	8273.09	72.22	\$ 67.89	\$ 39.69
Colón	8:38:45	01:06:40	36.4	7:32:05	7832.66	66.4	\$ 62.42	\$ 34.22
Oriente 2	9:07:25	01:01:43	31.43	8:05:42	7803.87	61.43	\$ 57.74	\$ 29.54
Oriente 4	9:04:09	0:57:30	27.3	8:06:39	12132.44	57.3	\$ 53.86	\$ 25.66
Promedio	8:55:05	1:04:40	34.46	7:50:25	8437.78	64.46	\$ 60.59	\$ 32.39
Total							\$ 424.14	\$ 226.74
Mensual							\$ 10,179.30	\$ 5,441.70
Anual							\$ 65,300.37	

Figura 7. Merma económica. Elaboración propia.

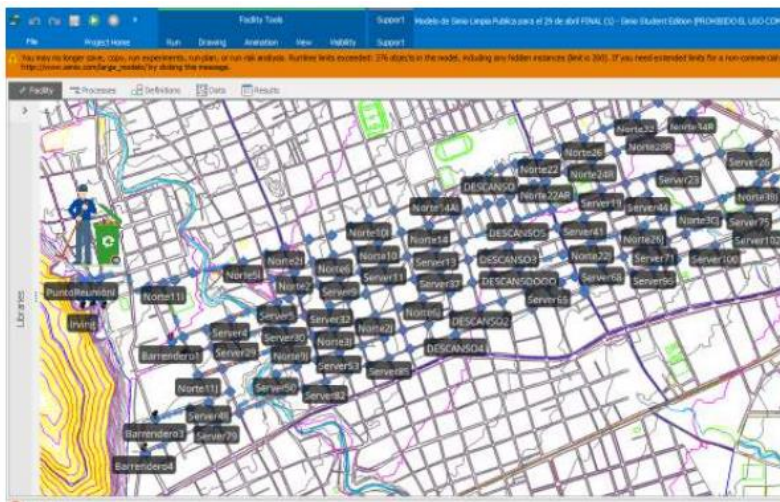


Figura 8. Layout de programa de barrido. Elaboración propia.

El Layout de barrido, que se puede observar en la figura 8, fue diseñado en AUTOCAD y constituyó la base de construcción del modelo de simulación en el software SIMIO, dicha construcción consideró las variables estadísticas analizadas tales como; tiempo de proceso de barrido y distancia barrido. Así mismo en la definición del modelo se contemplaron los siguientes elementos: entidades representando a los barrenderos que entran y salen del sistema, los atributos o parámetros referidas a las propiedades o características de la entidad que utiliza el sistema, y los Bloques o comandos que son instrucciones que delimitan los comportamientos de la simulación, y que tienen una secuencia específica definiendo el procesamiento de las entidades. Para la construcción del modelo inicialmente se utilizó la versión estudiante de SIMIO, sin embargo, por su limitación en cuanto a soporte del modelo de simulación se adquirió la versión académica de SIMIO 14.230.25895.

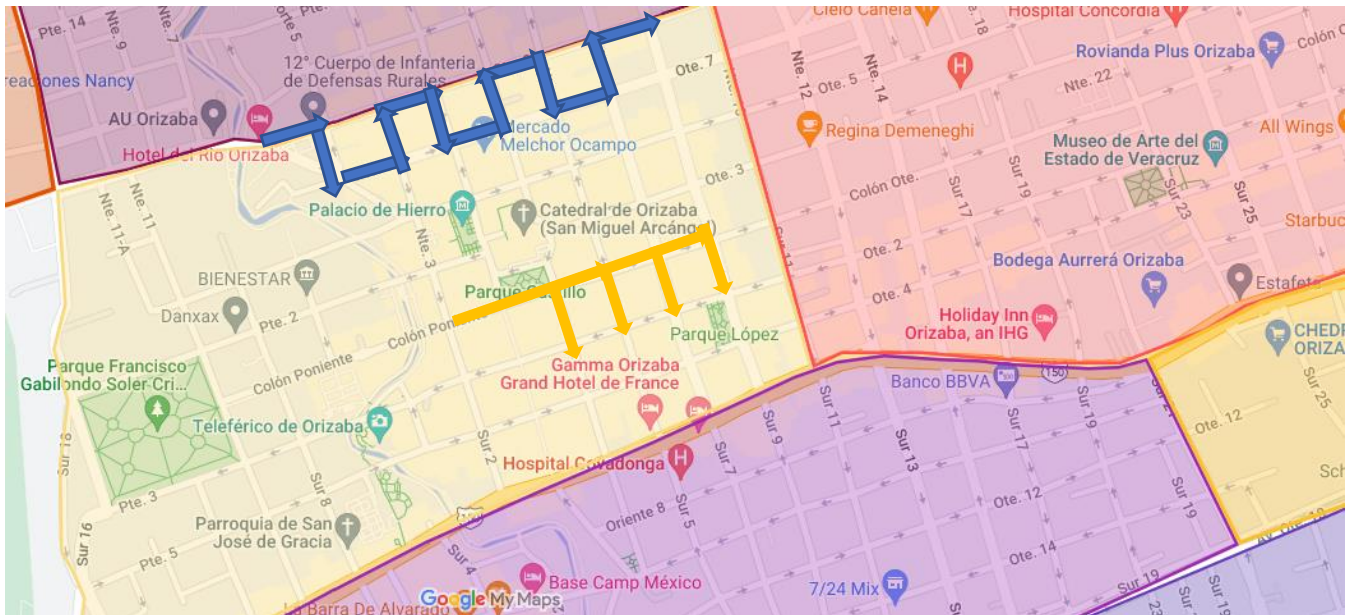


Figura 9. Formas de barrido. Elaboración propia.

Trabajo a futuro

Actualmente se está trabajando en el diseño de la alternativa la cual propone una nueva forma de barrido "Forma 7" que permita disminuir los tiempos que se realizan los colaboradores durante el recorrido de las calles que comprenden las rutas 7 y 8, impactando en la eficiencia de los recursos y costos. Así mismo se dará inicio a la etapa 3, la cual tiene como objetivo la aplicación de una prueba piloto con la nueva forma de barrido, contemplando la evaluación de los tiempos y costos, evaluando los resultados obtenidos.

Conclusiones

El aplicar el estudio de tiempos y movimientos permitió desarrollar el diagrama de procesos, identificando las actividades que se realizan en el barrido, así mismo a través de la simulación, fue posible modelar el sistema real, analizando las variables que intervienen con la finalidad de estandarizar los tiempos, favoreciendo el uso de los recursos (mano de obra e insumos).

El uso del software SIMIO en su versión académica permite modelar sistemas complejos en donde se integran diferentes factores, logrando recrear el proceso que se está estudiando, a través de capturar y describir el sistema, simularlo y al final es posible obtener una animación en 3D que permite al usuario entenderlo de mejor forma [9].

La contribución de este proyecto de investigación se alinea con el Programa Nacional Estratégico en Sistemas Socioecológicos y Sustentabilidad (Pronaces-SSyS), debido a que se propone una alternativa que permita minimizar los costos en función de la mano de obra asociada a los turnos y horarios de los trabajadores, así como los recursos empleados en el proceso de barrido, impactando favorablemente en el servicio de limpieza pública y de esta forma las autoridades podrán visualizar y ejercer nuevos proyectos en beneficio del medio ambiente favoreciendo la conciencia sustentable en la ciudadanía.

Referencias

- [1] R. Osegueda Gutierréz. (2021, junio, 11). Orizaba gana la Escoba de Oro por ser la ciudad más limpia. Disponible <https://www.mexicodesconocido.com.mx/orizaba-gana-laescoba-de-oro-por-ser-la-ciudad-mas-limpia.html>
- [2] UV Orizaba (2018, 05) Basura y Predial Reciclar te hace Ganar. [Diapositivas]. Disponible <https://www.uv.mx/orizaba/cosustenta/files/2014/05/Programa-BYP-Mpio-de-Orizaba.pdf>
- [3] Gobierno de Orizaba (2019) Reglamento de Limpia Pública para el Municipio de Orizaba, Veracruz, de Ignacio de la Llave. Disponible: <http://sipot.orizaba.gob.mx:9000/rpc/cat/JURIDICO/Fracci%E2%89%A4n%20I/Reglamento%20de%20Limpia%20Publica%20Para%20el%20Municipio%20de%20Orizaba.pdf>
- [4] PVT Group (2019). ¿Qué es la optimización de rutas? Disponible en https://company.ptvgroup.com/fileadmin/Resources/Resources-Library/ES/White-Papers/ptv_libro_blanco_que_es_la_optimizacion_de_rutas.pdf
- [5] G. Salvendy, Ed., Handbook of Industrial Engineering. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2001. Accedido el 4 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1002/9780470172339>
- [6] B. Render y J. Heizer. Principios de administración de operaciones. Mexico, D.F. : Pearson Educacion, 2009.
- [7] S. SEYS. "Ventajas de AutoCAD respecto a otros programas de diseño CAD - SEYS". SEYS. <https://seystic.com/ventajas-autocad-comparativa-sofware-cad/> (accedido el 8 de agosto de 2022).
- [8] S. Minitab. "Software: Minitab". Addlink Software Científico. <https://www.addlink.es/productos/minitab-statistical-software> (accedido el 8 de agosto de 2022).
- [9] S. Simio. "Simio – DSIC". DSIC – Dirección de Servicios de Informática y Comunicaciones. https://dsic.pucv.cl/?page_id=3119 (accedido el 8 de agosto de 2022).

Índices factoriales de competitividad, mercadeo y capital humano de las prácticas administrativas en mype suburbanas

Luis Carlos Ortuño-Barba*, Armando Heredia-González, Renato E. Ortiz-Saucedo, Ninivet S. Chiñas-Álvarez
Departamento de Ciencias Económico-Administrativas
Tecnológico Nacional de México / IT Tehuacán
*luiscarlos.ob@tehuacan.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Este artículo ofrece indicadores de adopción a prácticas administrativas generalmente aceptadas por micro y pequeñas empresas de municipios suburbanos selectos del Valle de Tehuacán que permiten monitorear la operación de este tipo de entidades. Se emplea Análisis de Componentes Principales y Análisis Factorial exploratorio para obtener indicadores estadísticamente sólidos. Se extraen once factores compuestos, no correlacionados entre sí, que miden el grado de adopción de prácticas administrativas de mercadotecnia, dirección, recursos humanos e innovación; estos factores muestran la posición relativa de cada empresa, de los sectores económicos involucrados y de los municipios. Los indicadores propuestos permiten al investigador determinar el grado de adopción y plantear correlaciones con otras métricas de desempeño y de operación.

Palabras clave: Competitividad, índice, mype, prácticas administrativas,

Abstract

This article offers indicators of adoption of administrative practices generally accepted by micro and small businesses in selected suburban municipalities of the Tehuacan Valley that allow monitoring the operation of this type of entity. Principal Components Analysis and Exploratory Factor Analysis are used to obtain statistically sound indicators. Eleven composite factors are extracted, not correlated with each other, which measure the degree of adoption of administrative practices of marketing, management, human resources and innovation; These factors show the relative position of each company, of the economic sectors involved and of the municipalities. The proposed indicators allow the researcher to determine the degree of adoption and establish correlations with other performance and operation metrics.

Key words: Administrative practices, Competitiveness, Index, Mype

Introducción

Las micro y pequeñas empresas típicamente muestran un desconocimiento de la importancia de la administración formal para llevar a cabo sus operaciones, ya que solo se basan en el hecho de que esta funcione y les dé ganancias, pero parecen soslayar el impacto de estas herramientas para que su empresa funcione de una manera más coordinada y eficiente.

Lo anterior genera el cuestionamiento ¿cuáles son las prácticas administrativas generalmente aceptadas que pueden incluirse en un índice que refleje de manera estadística el mejor comportamiento posible en las áreas de competitividad, mercadeo y capital humano?

Las micro y pequeñas empresas, también conocidas como Mype, son empresas compuestas por un número reducido de trabajadores y con un moderado volumen de facturación, cumplen un importante papel en la economía de todos los países y México no es la excepción, no sólo por sus aportaciones a la producción y distribución de bienes y servicios, sino también por su capacidad de cambiar rápidamente su estructura productiva.

Todo tipo de empresas requiere obtener beneficios del entorno y de sus propios componentes, distintos autores utilizan el término de ventaja competitiva relacionado generalmente con Porter [1]. La ventaja competitiva resulta principalmente del valor que una empresa es capaz de crear para sus compradores o clientes.

La gestión del talento humano, administración del recurso humano o manejo del talento humano es considerada una unidad estratégica dentro de las organizaciones y es un elemento a considerar en la generación de ventaja competitiva al reconocer la importancia de sus componentes como reclutamiento, selección, contratación, capacitación, desarrollo y evaluación, así como las prácticas emergentes: liderazgo, motivación, trabajo en equipo, conocimiento y emprendimiento, entre otras.

Las empresas se enfocan primordialmente en la importancia que tiene el cliente para la proyección de su negocio, por lo que guían su atención hacia la satisfacción de las necesidades y expectativas de los clientes, de esta manera los consumidores dan mayor importancia a algunos atributos intangibles de los productos que consumen: los servicios y el contexto en el que se prestan, así, la mercadotecnia y las prácticas relacionadas con la promoción, el producto y el precio, entre otras, resultan muy importantes para las mype.

Las actividades de innovación constituyen, junto con el capital humano, uno de los principales factores que determinan las ventajas competitivas de las economías industriales avanzadas y emergentes como la mexicana. En palabras de Porter, la única ventaja competitiva sostenible es la innovación permanente, por eso resulta esencial fijar la atención en la forma en que los procesos de innovación son gestionados en el seno de la organización. La innovación en procesos, productos y empaques constituyen un área de oportunidad para las mype, sobre todo en aquellas de municipios suburbanos.

El objetivo del presente manuscrito es mostrar la metodología y resultados en la construcción de índices y subíndices que concentran las prácticas administrativas generalmente aceptadas por las micro y pequeñas empresas de municipios suburbanos selectos del Valle de Tehuacán, en el estado mexicano de Puebla, de acuerdo con información recabada *in situ*.

Metodología

Población, muestra y datos

De acuerdo con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía [2], el número de micro y pequeñas empresas en los municipios suburbanos seleccionados del Valle de Tehuacán: Chilac (1,406), Zinacatepec (1,575) y Zapotitlán (422) es de 3,403 unidades económicas, considerando un margen de error del 5%, el tamaño mínimo muestral, que es de 346 negocios, fue calculado de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N}{1 + \frac{e^2 (N - 1)}{z^2 (pq)}}$$

Donde:

n = es el tamaño mínimo muestral

N = es el tamaño conocido de la población

pq = es la varianza de la población (0.25)

Z = es el nivel de confianza al 95% (1.96)

e = error tolerable (5%)

Sustitución:

$$n = \frac{3,403}{1 + \frac{(0.05)^2 (3,403 - 1)}{(1.96)^2 (0.25)}} = 346$$

El estudio utiliza información de corte transversal obtenida de la aplicación de un cuestionario a una muestra de 443 micro y pequeñas empresas (mype), los ítems que miden las prácticas administrativas se presentan en escala de Likert por lo que dichas variables son cualitativas ordinales ya que, aunque están codificadas con valores

numéricos, no son números verdaderos; de igual manera el instrumento incluye variables cuantitativas discretas particularmente para los datos relacionados con las cantidades de trabajadores, antigüedad de la empresa y edades de los directores. Del cuestionario se emplean 51 variables distribuidas en secciones identificadas con distintos grupos de prácticas administrativas, a saber: recursos humanos (9 ítems), mercadotecnia (11), ventaja competitiva (6), administración estratégica (6) e innovación (8); incluye también 11 ítems relacionados con la identificación y características de las empresas. La aplicación de los cuestionarios en los municipios suburbanos se realizó de manera presencial a los directores -mujeres y hombres- de las unidades económicas, se considera que el director es la persona que toma las principales decisiones para la marcha del negocio. Las respuestas fueron capturadas por los encuestadores en formularios de Google y los datos transferidos a hoja de cálculo se revisaron y validaron, los cuestionarios con cinco o más ítems inválidos fueron eliminados. Las preguntas fueron formuladas para conocer la operación de la mype durante el último año hasta la fecha de aplicación de la encuesta, es decir, los datos son relativos al periodo transcurrido entre abril de 2021 y marzo de 2022.

Se llevó a cabo al análisis de fiabilidad que permite estudiar las propiedades de las escalas de medición y de los elementos que las componen mediante el estadístico Alfa (Cronbach) y se muestran en la Tabla 1, lo que permite verificar la consistencia interna con base en la correlación entre elementos promedio [3].

Tabla 1. Resumen de estadísticas de fiabilidad a ítems del cuestionario aplicado

Componente	Alfa de Cronbach	Número de ítems
Cuestionario completo	0.822	51
Recursos humanos	0.852	9
innovación	0.793	8
Mercadotecnia	0.697	11
Dirección	0.687	6
Ventaja competitiva	0.732	6

Elaboración propia. Datos recolectados y analizados en IBM SPSS

Se considera que los valores obtenidos para el estadístico Alfa de Cronbach denotan una adecuada consistencia interna de la escala utilizada ya que los mínimos obtenidos son muy cercanos a 0.700 y, los máximos, no sobrepasan 0.900 por lo que se considera que no hay redundancia o duplicación [4].

Estadística descriptiva

Micro y pequeñas empresas estudiadas

Las micro y pequeñas empresas estudiadas muestran un comportamiento similar en todos los municipios, de acuerdo con la Tabla 2, el 59.2% de las unidades económicas realiza actividades de comercio y solo alrededor del 5% actividades agropecuarias, la segunda actividad en importancia son los servicios. Como puede apreciarse, la vocación hacia la manufactura no tiene un impacto significativo. El sector primario emplea a 148 trabajadores (48.6% mujeres), las empresas de manufactura a 569 (43.8% mujeres). El sector comercio genera 906 plazas laborales (52.1% mujeres), y los servicios emplean a 341 personas de las cuales el 57.2% son mujeres. De los negocios de la muestra el 16.2% tienen hasta dos años de antigüedad, el 36.5% de tres a siete años, 20.5% de 8 a 14 años y el 26.8% de 15 años en adelante; el municipio de Chilac es el que presenta mayor proporción de empresas de creación recientes y Zinacatepec es el que concentra mayor proporción de empresas consolidadas en el tiempo.

La mayoría de las empresas no están registradas ante el Servicio de Administración Tributaria y se identifican en segunda sección de la Tabla 2 con los conceptos PF sin RFC y Unión, de aquellas empresas que si cuentan con Registro Federal de Contribuyentes, la mayoría tributa bajo el esquema de Persona Física con Actividades Empresariales

Tabla 2. Estadísticos descriptivos selectos relacionados a la micro y pequeña empresa estudiada

Variable	Dimensión	Casos y (%) por municipio									
		Chilac		Zinacatepec		Zapotitlán		Otros		Total	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Sector	Primario	6	3.5%	13	9.9%	3	2.2%	0	0.0%	22	4.9%
	Manufactura	25	14.7%	24	18.3%	18	13.4%	3	33.3%	70	15.8%
	Comercio	110	64.7%	70	53.4%	78	58.2%	5	55.6%	263	59.2%
	Servicios	29	17.1%	24	18.3%	35	26.1%	1	11.1%	89	20.1%
	Totales	170	100%	131	100%	134	100%	9	100%	444	100%
Personalidad jurídico - fiscal	PM	11	6.5%	15	11.5%	10	7.5%	0	0.0%	36	8.1%
	PF sin RFC	115	67.6%	89	68.5%	78	58.2%	5	55.6%	287	64.6%
	Unión	4	2.4%	6	4.6%	6	4.5%	0	0.0%	16	3.6%
	PF empresa	29	17.1%	15	11.5%	29	21.6%	4	44.4%	78	17.6%
	RIF	9	5.3%	4	3.1%	11	8.2%	0	0.0%	24	5.4%
	PF profesional	2	1.2%	1	0.8%	0	0.0%	0	0.0%	3	0.7%
	Totales	170	100%	130	100%	134	100%	9	100%	444	100%

Notas. PM.- Persona Moral; PF sin RFC.- Un propietario sin registro fiscal; Unión.- Varios dueños sin registro fiscal; PF empresa.- Persona Física del régimen de actividades empresariales; RIF.- Régimen de Incorporación Fiscal; PF profesional.- Persona Física del régimen de actividades profesionales

Elaboración propia. Datos recolectados y analizados en IBM SPSS

Perfil sociodemográfico del director de la mype

El 29.7% de los directores no cuentan con educación básica concluida, el 27% terminaron hasta la educación secundaria, el 29.3% concluyó la educación media superior, el 13.5% de los directores concluyó estudios de técnico superior universitario, licenciatura o ingeniería y solo el 5% manifiestan haber terminado estudios de posgrado. Los datos de la edad de los directores muestran una distribución normal: 8.1% tiene entre 17 y 24 años, 19.4% entre 25 y 34, 25.7% manifestó tener entre 35 y 44 años, el mayor porcentaje (29.1%) está representado por el rango de entre 45 y 54 años, 63 directores tienen de 55 a 64 años y el 4.6% es mayor de 65, la edad máxima encontrada es de 80 años.

El 44.8% de las personas que toman la mayor parte de las decisiones en las empresas estudiadas son del sexo femenino y el resto masculino. El 58.6% de los directores están casados, el 12.2% se encuentran en unión libre, el 17.6% son solteros y el resto se distribuye entre distintas formas de personas solas o sin relación manifiesta.

Extracción de componentes de prácticas administrativas

El objetivo de este artículo es proponer indicadores de prácticas administrativas llevadas a cabo por micro y pequeñas empresas de municipios suburbanos, los indicadores son intuitivos y sólidos a partir de datos obtenidos de la aplicación de un instrumento de recolección de datos válido y confiable. Aunque el análisis de las variables contenidas en los ítems del cuestionario puede ser útil para describir empíricamente los usos administrativos empresariales, es importante considerar métodos estadísticos que coadyuven a compactar los atributos agregados de las prácticas administrativas identificadas en la literatura. Muchas de las variables pueden incluir características similares, de modo que es prudente utilizar un método que agrupe naturalmente estas variables en conjuntos de atributos más reducidos sin perder la representatividad de los ítems del instrumento de recolección.

Análisis multivariado

El análisis de componentes principales (ACP) y el análisis factorial (AF) son aplicados en este estudio como método de extracción de datos para generar índices compuestos con la finalidad de evaluar el grado de aplicación de las prácticas administrativas generalmente aceptadas.

El ACP es un método geométrico de carácter descriptivo que busca encontrar la estructura que subyace en un conjunto de individuos estudiados (n), en este caso micro y pequeñas empresas bajo un conjunto de variables cuantitativas (p). El comportamiento estadístico de los datos, la correlación entre variables y la distancia de cada una de ellas respecto a las medias nos permitirán encontrar la estructura subyacente de las prácticas administrativas generalmente aceptadas en las mype estudiadas.

Considerando la estructura subyacente de los datos de prácticas administrativas, se emplea un procedimiento matemático (AF) que reduce sustancialmente la dimensión de p con lo que se genera un nuevo conjunto de variables denominados factores y que, a pesar de ser un número pequeño, permite explicar la variabilidad común encontrada en un grupo de empresas en las que se observaron las p variables originales. El ACP y AF son procedimientos complementarios, ya que el ACP se utiliza en la obtención de factores comunes, etapa del AF [5].

De acuerdo con lo anterior, un objetivo del ACP es minimizar la información multivariada original a unos cuantos factores para determinar asociaciones entre variables y observaciones y, de esa manera, revelar grupos específicos de prácticas administrativas (factores) con comportamiento similar, independiente de la variabilidad de los datos que los explican, de esta manera, los factores se utilizarán como insumo en el AF para generar los índices [6].

Análisis exploratorio de factores

El método de AF puede ser exploratorio o confirmatorio, en este artículo, el AF se emplea como herramienta exploratoria para mostrar la relación entre las variables y los factores resultantes. Los resultados del método manifiestan un conjunto de factores comunes, su significado emana de las cargas o saturaciones factoriales que constituyen correlaciones de Pearson entre los ítems y los factores resultantes, esta carga informa cuál es la relación que cada ítem sostiene con cada uno de los factores extraídos [7].

En la solución final para la propuesta de factores se utiliza un proceso de rotación en la búsqueda de soluciones interpretables sin cambiar las propiedades matemáticas. En este procedimiento las variables integran subconjuntos asociados cada uno a un factor único. El método de rotación ortogonal empleado fue Varimax lo que permite hallar factores que puedan generalizarse. Para una interpretación intuitiva de este método de rotación, así como Quartimax y métodos oblicuos, se puede acudir a [8].

Resultados y discusión

Extracción de factores

La Tabla 3 muestra los valores propios de los componentes encontrados y la proporción de la varianza explicada. El criterio de Kaiser sugiere elegir el número de componentes con valores propios mayores a uno, de esta manera se eligieron 11 factores que en conjunto explican 62.09% de la varianza de los datos de las prácticas administrativas empleadas por las micro y pequeñas empresas.

Una vez identificados estos indicadores compuestos, se utiliza el método de AF para calcular las cargas individuales para cada uno de los 11 factores que componen el estudio. Las cargas máximas se determinan mediante el método de rotación Varimax y se arreglan conforme con su importancia relativa.

Se observa que las variables que dominan al primer factor se relacionan con las características de los empleados y de su relación con el propietario del negocio incluyendo el hecho de que se compartan de manera grupal la visión y misión de la organización, debido a lo anterior a este factor se le denominará capital humano (CAPHUM).

El segundo factor está integrado por variables asociadas al desarrollo de nuevos productos, procesos y empaques entre otros, así como el hecho de que la dirección de la empresa considera necesario elaborar un plan estratégico, por lo que a este factor se le denomina desarrollo (DESARR).

Tabla 3. Componentes principales de las prácticas administrativas de las micro y pequeñas empresas

Componente	Valor propio	Varianza	Varianza acumulada
1	4.433	0.11083	0.11083
2	4.121	0.10302	0.21385
3	3.192	0.07980	0.29365
4	2.167	0.05417	0.34783
5	1.970	0.04924	0.39707
6	1.631	0.04077	0.43784
7	1.604	0.04010	0.47794
8	1.545	0.03863	0.51657
9	1.434	0.03586	0.55243
10	1.413	0.03532	0.58775
11	1.327	0.0317	0.62091

Elaboración propia. Datos recolectados y analizados en IBM SPSS

El tercer factor está compuesto por variables relacionadas a la manera en la que los directores consideran que su negocio obtiene ventaja competitiva al incluir variables como precio, calidad y trato entre otros además de un componente relacionado con el enfoque en el servicio como refuerzo. A este factor se le denomina ventaja competitiva (VENCOM).

El cuarto factor denominado mercadotecnia (MERCAD) incluye aspectos como la asistencia a congresos relacionados con el giro del negocio, prácticas de publicidad, inclusión de marca propia y aspectos de fidelización de la clientela.

El quinto factor se denomina adecuación al entorno (ADENTO) debido a que incluye variables como el análisis del entorno de la empresa, la determinación de la ubicación de los salarios ofrecidos y la práctica empírica antes de la implantación de estrategias.

La innovación al considerar la participación de empleados y de clientes, así como el reconocimiento de un enfoque en la busca de nuevas prácticas marca al sexto factor (INNOVA).

El séptimo factor incluye variables relacionadas con la tarea de ventas y su enfoque al mayoreo, al otorgamiento de crédito como herramienta de colocación de productos además del poder de negociación de los clientes, se denomina ventas (VENTAS).

La fuerza del mercado se valora en el factor denominado mercado (MERCAD) al detectar la percepción del impacto de los precios de mercado como referente para determinar los propios, así como la confianza en el mercado en lugar de realizar planeación estratégica.

La evaluación del desempeño de los empleados y la definición de objetivos estratégicos dan lugar al noveno factor (EVALUA), el décimo factor cuantifica el impacto del enfoque detallista (DETALL) en el negocio y el último factoriza la percepción de la fortaleza de la competencia (COMPET).

Obtención de factores de adopción de prácticas administrativas

El puntaje relativo por empresa para cada uno de los once indicadores de adopción de las prácticas administrativas generalmente aceptadas se obtiene al aplicar la suma producto entre las cargas factoriales y el

valor específico de cada variable reportado en el cuestionario de cada empresa, de esta manera se obtiene el puntaje anual para cada unidad económica que es multiplicado por el factor de 3.4582 para generar una valoración con base 10 en la que es el máximo puntaje posible en el caso de adoptar satisfactoriamente todas las prácticas administrativas generalmente aceptadas.

Indicador de adopción de prácticas administrativas generalmente aceptadas

El ejercicio anterior desemboca en indicadores individuales de adopción a las prácticas administrativas generalmente aceptadas. El puntaje que obtiene cada empresa y cada sector en promedio al considerar el promedio ponderado por la contribución de la varianza individual de cada factor.

Los factores extraídos pueden agruparse, de manera natural, para examinar atributos de adopción particulares a la dinámica de los negocios como el Capital humano, la Competitividad y el Mercadeo, de acuerdo con la integración que se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Integración de indicadores de adopción de prácticas administrativas generalmente aceptadas

Subíndice		
Capital humano	Competitividad	Mercadeo
Talento humano	Desarrollo	Mercadotecnia
Evaluación	Ventaja competitiva	Ventas
	Adecuación al entorno	Mercado
	Innovación	Enfoque detallista
	Competencia	

Elaboración propia

Tabla 5. Índices promedio por sector

Sector	Índice global	Subíndices		
		Capital Humano	Competitividad	Mercadeo
<i>Máximo alcanzable</i>	10.00	3.12	5.41	1.46
Primario				
Promedio del sector	7.01	2.73	3.43	0.85
<i>Máximo de la muestra</i>	10.00	3.12	5.41	1.46
<i>Mínimo de la muestra</i>	3.68	1.49	0.95	0.50
<i>Desviación estándar</i>	1.87	0.50	1.38	0.30
Manufactura				
Promedio del sector	6.79	2.62	3.30	0.87
<i>Máximo de la muestra</i>	10.00	3.12	5.41	1.46
<i>Mínimo de la muestra</i>	2.27	0.35	0.00	0.00
<i>Desviación estándar</i>	1.80	0.58	1.30	0.38
Comercio				
Promedio del sector	5.95	2.41	2.78	0.75
<i>Máximo de la muestra</i>	10.00	3.12	5.41	1.46
<i>Mínimo de la muestra</i>	0.28	0.00	0.22	0.00
<i>Desviación estándar</i>	2.00	0.96	1.14	0.35
Servicios				
Promedio del sector	6.34	2.53	3.06	0.75
<i>Máximo de la muestra</i>	9.84	3.12	5.26	1.46
<i>Mínimo de la muestra</i>	1.51	0.00	1.19	0.00
<i>Desviación estándar</i>	1.91	0.88	1.16	0.30

Elaboración propia. Datos recolectados y analizados en IBM SPSS

La Tabla 5 muestra los promedios por cada uno de los sectores económicos considerados en el estudio, el número de empresas incluidas en cada sector es como sigue: primario 23, manufactura 72, comercio 264 y sector

de servicios 94. Se aprecia que el sector que genera un conjunto de índices promedio más robusto es el primario, seguido por el de manufactura, es relevante que el promedio del sector que más refleja la vocación económica de los municipios suburbanos muestreados, el sector comercial, sea el que obtiene los índices más bajos. Se aprecia una desviación estándar similar en los sectores lo que indica coherencia en la dispersión de los datos obtenidos mediante la aplicación de los cuestionarios y manejados tanto en hoja de cálculo como en el programa estadístico.

Los datos recolectados permiten hacer comparaciones por municipios, al considerar cada uno de los 11 factores generados, así como de los subíndices y el índice global. La Tabla 6 muestra la intensidad con la que las micro y pequeñas empresas locales, desarrollan las diferentes dimensiones de las prácticas administrativas generalmente aceptadas. Para determinar los promedios, la cantidad de empresas consideradas por municipio son como sigue: Zapotitlán 138, Chilac 171 y Zinacatepec 135; de igual manera se aplicaron 9 encuestas en municipios diferentes. Impulsado por el subíndice de Competitividad, el municipio de Zinacatepec, destaca en el índice global.

Tabla 6. Índices promedio por municipio

Municipio	Índice global	Subíndices		
		Capital Humano	Competitividad	Mercadeo
<i>Máximo alcanzable</i>	10.00	3.12	5.41	1.46
Zapotitlán				
Promedio del municipio	6.05	2.47	2.78	0.80
<i>Máximo de la muestra</i>	10.00	3.12	5.41	1.46
<i>Mínimo de la muestra</i>	0.28	0.00	0.28	0.00
<i>Desviación estándar</i>	1.86	0.82	1.12	0.34
Chilac				
Promedio del municipio	5.91	2.44	2.74	0.73
<i>Máximo de la muestra</i>	10.00	3.12	5.41	1.46
<i>Mínimo de la muestra</i>	1.08	0.00	0.00	0.00
<i>Desviación estándar</i>	1.93	0.92	1.15	0.34
Zinacatepec				
Promedio del municipio	6.73	2.55	3.38	0.80
<i>Máximo de la muestra</i>	10.00	3.12	5.41	1.46
<i>Mínimo de la muestra</i>	1.50	0.00	1.07	0.00
<i>Desviación estándar</i>	[9]2.05	0.88	1.24	0.35
Otros municipios				
Promedio de los municipios	6.66	2.53	3.26	0.87
<i>Máximo de la muestra</i>	8.57	3.12	4.59	1.46
<i>Mínimo de la muestra</i>	2.60	0.00	1.83	0.32
<i>Desviación estándar</i>	1.81	1.04	1.00	0.40

Elaboración propia. Datos recolectados y analizados en IBM SPSS

Un índice que concentra información múltiple puede construirse de manera simple al cuantificar las unidades empleadas en el instrumento de recolección de datos, o de modo ponderado al evaluar el impacto relativo o importancia de cada medida, algunos investigadores afirman que los índices no ponderados reducen la subjetividad [9] y que para generar un índice ponderado se requiere una evaluación subjetiva del peso de cada elemento [10], el índice presentado en este manuscrito fue desarrollado de manera objetiva siguiendo métodos estadísticos reconocidos.

La metodología utilizada que incluye ACP y AF ha sido empleada con éxito en la medición de variables relacionadas con las ciencias sociales, por ejemplo, para la medición de componentes de las finanzas públicas en México [6]. La asignación de la carga factorial y ponderación ha sido utilizada con éxito en la construcción de índices de gobierno corporativo como lo demuestran [11] y empleado para la correlación y causalidad en [12].

La medición de prácticas y habilidades administrativas, así como la construcción de índices relacionados es una práctica común en distintos niveles de empresas de acuerdo con lo señalado por Ryan [13] que han sido utilizados en la búsqueda de asociaciones con distintos temas como el éxito administrativo, opciones de remuneraciones a directivos [14] y de retorno a los accionistas [15].

Trabajo a futuro

Para fortalecer esta línea de investigación es importante buscar la asociación o correlación entre variables relacionadas con la empresa como nivel de ventas, contratación de nuevos empleados o colaboradores, antigüedad y el nivel de utilidades, así como con aquellas relacionadas con las características de los directores como edad y formación escolar y académica entre otras. Para determinar la correlación es posible utilizar el procedimiento estadístico propuesto por Pearson así como, de manera alternativa, emplear el procedimiento de autoregresión de vector de panel (PVAR); de forma complementaria se sugiere aplicar pruebas de causalidad de Granger u otras pertinentes.

De igual manera es recomendable asociar las prácticas administrativas concentradas en los factores e índices del presente estudio con prácticas identificadas como financieras que son orientadas y desarrolladas por los mismos directores de las micro y pequeñas empresas.

Conclusiones

Este artículo parte del concepto de prácticas administrativas y de la necesidad de generar herramientas que permitan monitorear y medir de manera coherente el desempeño de las micro y pequeñas empresas en general y de municipios suburbanos, en particular. La evaluación del grado de adopción de las mype a las prácticas administrativas generalmente aceptadas pudiera ser una práctica común que oriente la actuación y operación de los directores de empresas, de tal manera que permita la comparabilidad entre empresas y sectores económicos.

Empleando técnicas de análisis multivariado, en este trabajo se generan once factores que explican el 62% de la variabilidad estadística observada en la adopción de prácticas administrativas seleccionadas. Este método de extracción de factores permite establecer una clasificación de mype por sector económico y municipio mostrando la posición relativa en un año calendario.

El resultado final es el índice de Adopción a las Prácticas Administrativas Generalmente Aceptadas (ADOPRAC) el cual, al emplear la aportación de varianza individual, pondera los indicadores particulares de adopción.

Además de los once componentes señalados, es evidente que los factores pueden agruparse a su vez para integrar indicadores temáticos de rasgos importantes de la administración moderna como lo son el Capital Humano, la Competitividad y el Mercadeo.

Este artículo propone a la literatura una cartera de indicadores extremadamente útil para el análisis de las prácticas administrativas de las mype.

Agradecimientos

Es importante agradecer a la estudiante Teresita de Jesús Sánchez López por sus comentarios a la propuesta del presente estudio.

Referencias

- [1] I. Fernández, «Enfoque de Porter y de la teoría basada en los recursos en la identificación de la ventaja competitiva ¿contraposición o conciliación?,» *Revista Economía y Desarrollo*, vol. 144, nº 1, pp. 101-114, 2018.
- [2] INEGI, «Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>.
- [3] IBM, «SPSS Statistics 25.0.0,» 22 arzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/25.0.0?topic=features-reliability-analysis>. [Último acceso: 08 agosto 2022].
- [4] H. Celina y A. Campos, «Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach,» *Revista Colombiana de Psiquiatría*, vol. XXXIV, nº 4, pp. 572-580, 2005.
- [5] M. De Vicente y J. Manera, «El análisis factorial y por componentes factoriales,» de *Análisis multivariable para las ciencias sociales*, Madrid, Pearson, 2008, pp. 327-360.
- [6] A. Mendoza, «Indicadores de desempeño, presión y vulnerabilidad de las finanzas públicas estatales en México,» *El Trimestre Económico*, vol. LXXVII, nº 307, pp. 605-649, 2010.
- [7] R. Prat y E. Doval, «Construcción y análisis de escalas,» de *Análisis multivariable para las ciencias sociales*, Madrid, Pearson, 2008, pp. 43-89.
- [8] B. Everitt, *An R and S-Plus (R) Companion to Multivariate Analysis*, London: Springer-Verlag London, 2005.
- [9] M. Hossain y H. Hammami, «Voluntary disclosure in the annual reports of an emerging country: The case of Qatar,» *Advances in Accounting*, vol. 25, nº 2, pp. 255-265, 2009.
- [10] G. Briano, «Factores institucionales que inciden en la Transparencia del Gobierno Corporativo. Un estudio en empresas cotizadas en latinoamérica,» Universidad de Cantabria, Santander, 2012.
- [11] A. Mendoza y L. Ortuño, «Indicador global de adhesión a las mejores prácticas de gobierno corporativo: sociedades anónimas bursátiles mexicanas,» *Contaduría y Administración*, vol. 64, nº 8, pp. 1-18, 2019.
- [12] A. Mendoza, L. Ortuño y L. Conde, «Corporate governance and firm performance in hybrid model countries,» *Review of Accounting and Finance*, vol. 21, nº 1, pp. 32-58, 2022.
- [13] E. Ryan, «The Relationship Between Managerial Values and Managerial Success of Female and Male Managers,» *The Journal of Psychology: Interdisciplinary and Applied*, vol. 108, nº 1, pp. 67-72, 1981.
- [14] D. Egginton, J. Forker y M. Tippett, «Share Option Rewards and Managerial Performance: an Abnormal Performance Index Model,» *Accounting and Business Research*, vol. 19, nº 75, pp. 255-266, 1989.
- [15] B. Matemilola, A. Bany-Arifin y W. Azman-Saini, «Impact of Leverage and Managerial Skills on Shareholders' Return,» *Procedia Economics and Finance*, vol. 7, nº 1, pp. 103-115, 2013.
- [16] J. Hernández, F. Espinoza, J. Rodríguez, J. Chacón, C. Tolosa, M. Arenas, S. Carrillo y V. Bermúdez, «Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones,» *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, vol. 37, nº 5, pp. 588-601, 2018.

Análisis estadístico de parámetros de acuaponía para su transferencia tecnológica: Región lacustre de Pátzcuaro, Michoacán

Laura Adame-Rodríguez¹, Martin Tapia-Salazar², Maricela Villanueva-Pimentel³, Alejandro Soto-Castro⁴

TecNM / Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro^{1,2,3,4}; ladame@itspa.edu.mx¹, mtapia@itspa.edu.mx², mvillanueva@itspa.edu.mx³, asoto@itspa.edu.mx⁴

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

La presente investigación muestra los resultados de la etapa inicial de un proyecto de investigación financiado y se desarrolla con el objetivo de realizar un análisis estadístico a partir de parámetros de producción acuícola en dos modelos acuapónicos, que fundamente la toma de decisión estratégica del modelo óptimo para su transferencia tecnológica en la zona lacustre de Pátzcuaro, Michoacán, México. Los prototipos instalados fueron bajo los modelos de balsas flotantes y NFT. Se desarrolla con metodología comprendida por tres fases: en la primera se obtienen datos de biometrías aplicadas, en la segunda fase se realiza un análisis estadístico y en la última se determinan zonas estratégicas para el análisis de la calidad del agua. Con ello, se pretende comprobar la hipótesis planteada como "El análisis estadístico de los parámetros de producción de los prototipos acuapónicos, permite la toma de decisión estratégica del modelo óptimo para su transferencia".

Palabras clave: Acuaponía, sustentable, economía circular, estratégica.

Abstract

This research shows the results of the initial stage of a funded research project and is developed with the aim of performing a statistical analysis based on aquaculture production parameters in two aquaponic models, which supports the strategic decision-making of the optimal model for its technology transfer in the lake area of Pátzcuaro, Michoacán. The installed prototypes were under the floating raft and NFT models. It is developed with a methodology comprising three phases: in the first phase, biometric data applied to the two prototypes are obtained, in the second phase a statistical analysis is carried out and in the last phase strategic areas are determined for the analysis of water quality. With this, it is intended to verify the hypothesis raised as "The statistical analysis of the production parameters of the aquaponic prototypes, allows the strategic decision making of the optimal model for its transfer".

Key words: Aquaponics, sustainable, circular economy, strategic.

Introducción

La región lacustre de Pátzcuaro, ubicada al occidente de México en el Estado de Michoacán tiene una superficie total de 1,096 Kilómetros cuadrados, considerando 100 km² de lago con sus respectivas islas y 900 km² de área terrestre, integrada por los municipios de Erongarícuaro, Pátzcuaro, Quiroga y Tzintzuntzan. En la zona se identifican aspectos de desigualdad en el número de habitantes, gobierno, y condiciones sociales, además de una degradación de los recursos naturales, principalmente el hídrico [1]. El agua es un recurso indispensable para el ser humano y la naturaleza en general, pues es requerido para actividades agrícolas, consumo directo, industria y sistemas productivos, sin embargo, el mal manejo de la misma en dichas actividades la han llevado a su contaminación y bajos niveles en su disponibilidad. De continuar la presión en este recurso, aunado a la degradación del medio ambiente y según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en su informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019, "el 45% del PIB

global, el 52% de la población mundial y el 40% de la producción mundial de cereales estarán en riesgo para el 2050” [2].

Por otra parte, la insuficiencia de tierras cultivables y la baja calidad de suelos, como consecuencia del crecimiento poblacional y la contaminación ambiental, hacen necesaria la búsqueda de técnicas de producción agrícola que requieran menos recursos y que sean amigables con el medio ambiente, además de atender las tendencias a obtener alimentos orgánicos libres de fertilizantes o químicos que dañen la salud del consumidor, y por supuesto, sin afectar la cantidad y calidad de los productos demandados por dicho incremento poblacional. La acuaponía es un sistema innovador sostenible para la producción de alimentos que integra la producción acuícola con sistemas de recirculación acuícola, de cuyas excretas y desechos se aprovechan en la nutrición y crecimiento vegetal además de beneficiar la propia calidad del agua del sistema [3].

En la actualidad hay países que practican sistemas acuapónicos, ya sea para la producción casera o de escala industrial. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) puso en marcha experiencias de acuaponía a nivel industrial en tres países (Omán, Egipto y Argelia), los cuales resultaron ser un éxito [3][4]. Un modelo acuapónico se puede considerar como un modelo de economía circular, ya que como lo menciona [5][6], una “economía circular” transformaría los bienes que están al final de su vida útil en recursos para los demás, cerrando bucles en ecosistemas industriales y reduciendo el desperdicio. Existen diversas ventajas en los sistemas de acuaponía que los hacen modelos alternativos para el cuidado del medio ambiente, en la producción de alimentos sanos y como impulso a una economía circular, resaltando a esta “como un ciclo de desarrollo constante positivo que conserva e incrementa el capital natural, optimiza los rendimientos de los recursos y minimiza los peligros del sistema, gestionando stocks finitos y flujos renovables; que a su vez funciona de forma efectiva a cualquier escala” [7][6].

Debido a lo antes mencionado, este estudio que es la base para la transferencia de un modelo de acuaponía considera como antecedente la economía circular además de la innovación social. Esta última, contribuye en la mejora de la calidad de vida de las comunidades mediante la solución de problemáticas y el involucramiento inclusivo y participativo de actores sociales. Con esto, es eficaz en la satisfacción de necesidades y en el impulso de procesos de transformación desde una perspectiva de planeación estratégica para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para el 2030 [8]. Es así como se plantea el objetivo de esta investigación: “realizar un análisis estadístico a partir de parámetros de producción en dos modelos acuapónicos, que fundamente la toma de decisión estratégica del modelo óptimo para su transferencia tecnológica en la zona lacustre de Pátzcuaro, Michoacán”.

El objetivo previamente planteado, considera la toma de decisión estratégica, debido a que esta implica un análisis de las acciones que permitan el funcionamiento exitoso de una organización; las propias acciones definidas; así como la ejecución de las mismas. En donde, las decisiones estratégicas juegan un papel fundamental, debido a su alcance e impacto dentro y fuera de la organización, de ahí la importancia de la aplicación de técnicas y factores procedimentales necesarios que la diferencian de la toma de decisiones tradicional [9].

Bajo esta perspectiva, la acuaponía como sistema sostenible conlleva beneficios en los aspectos social, económico y ecológico, generando mayor productividad por la utilización de los recursos propios, sin provocar la destrucción del ecosistema y poder satisfacer las necesidades de una población en aumento que desea vivir en armonía con la naturaleza [6]. Además con ello, se busca favorecer en gran medida a las familias de una comunidad debido a que puede asegurar su alimentos básico “*La versatilidad de los montajes permite identificar, además de la escala comercial, la familiar o la de autoconsumo, a una tercera semi-comercial. Se trata además, de una alternativa muy interesante para el mejoramiento de las economías familiares y comunales*” [10].

Dado lo anterior, es importante destacar que en este estudio, la visión de los modelos acuapónicos como tecnologías sustentables que puedan ser transferidos con el afán de elevar los niveles de producción y servicios que requiere la población de la ribera lacustre de Pátzcuaro, Michoacán y dado su enfoque como estrategia de economía circular e innovación social, se impulsará una producción de alimentos de trascendencia socio-cultural, socio-económica, ambiental, biológica y medicinal [6], al obtener alimentos de origen acuícola (endémicos y/o comerciales) y de origen vegetal.

Este modelo de acuaponía propuesto con innovación en su proceso de recirculación de agua, que parte de la conceptualización misma de innovación, involucra la novedad y considera el proceso de Investigación + Desarrollo (I+D) para el uso eficiente de los recursos y el manejo adecuado de la información del micro y macro entorno [11].

A partir de ello, se pretende comprobar la hipótesis planteada como “El análisis estadístico de los parámetros de producción de los prototipos acuapónicos, permite la toma de decisión estratégica del modelo óptimo para su transferencia”. El estudio se desarrolla con una metodología en tres etapas: en la primera etapa se obtienen los datos que son analizados con un análisis estadístico proceso que comprende la segunda etapa, y como última etapa se definen las zonas estratégicas para el estudio de las condiciones ambientales. Con esto se obtiene como principal resultado la decisión del tipo de modelo acuapónico óptimo para su transferencia en una comunidad de la zona lacustre.

Metodología

La presente investigación se desarrolla con el objetivo de realizar un análisis estadístico a partir de parámetros de producción acuícola en dos modelos acuapónicos, que fundamente la toma de decisión estratégica del modelo óptimo para su transferencia tecnológica en la zona lacustre de Pátzcuaro, Michoacán. Para ello, se desarrolla una metodología que consta de tres etapas:

La primera etapa consistió en la obtención de datos sobre parámetros biométricos para la producción de peces en dos prototipos de acuaponía: balsas flotantes y técnica de la película de nutrientes o por sus siglas en inglés de Nutrient Film Technique (NFT).

En la segunda etapa, se parte de los datos obtenidos en la primera etapa y se realiza un análisis de estadística descriptiva de ambos modelos: secuencia de comportamiento, correlación entre variables (talla y peso), tendencia y ecuación de pronóstico.

Como tercera etapa, se elaboró mapa cartográfico de ocho puntos considerados como zonas estratégicas por su caracterización en recursos naturales y se realizó un análisis de calidad de agua al 75% de las zonas elegidas.

A partir de ello, se pretende comprobar la hipótesis planteada como “El análisis estadístico de los parámetros de producción acuícola en los prototipos acuapónicos, permite la toma de decisión estratégica del modelo óptimo para su transferencia”.

Materiales

En la siguiente tabla se presentan los materiales requeridos en cada una de las tres etapas arriba mencionadas.

Tabla 1. Descripción de los materiales por acción desarrollada en cada etapa de la metodología del estudio. Elaboración propia.

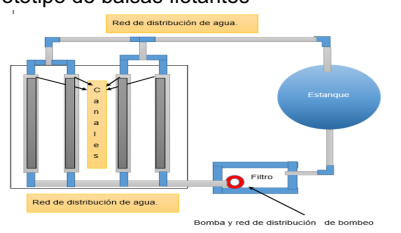
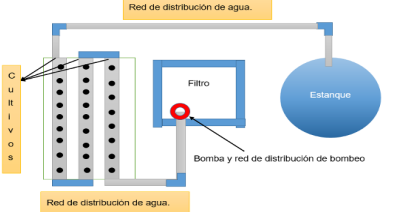
Etapas de la metodología	Acciones por etapas	Materiales requeridos
Primera	Medición de parámetros en producción acuícola	Balanza portátil. Regla graduada de 30 cm. Materiales: Reactivos requeridos en las biometrías.
	Prototipo de balsas flotantes	Estanque de peces de 1.7 m ³ de capacidad, recipiente de plástico de 200 l de capacidad, material pétreo como sustrato de soporte del filtro biológico, bomba para recirculación continuo Boyu GX4P, tubería de PVC de una pulgada para recirculación de agua tratada, canaletas adaptadas con tubería de PVC de 16 pulgadas. Unicel de 5 cm de espesor para plantación de lechugas. Probeta de un litro graduada. portátil (Scout pro). Regla graduada de 30 cm.
	Prototipo NFT	Estanque de peces de 1.7 m ³ de capacidad, estanque de concreto hidráulico de 270 l de capacidad, material pétreo como sustrato de soporte del filtro biológico, bomba para recirculación continuo Boyu GX4P, tubería de PVC de 1 pulgada para recirculación de agua tratada, tubería de PVC sanitario de 4

		pulgadas de diámetro. Probeta de un litro graduada. portátil (Scout pro). Regla graduada de 30 cm.
Segunda	Estadísticos descriptivos	Para el desarrollo de esta acción fue necesario el uso del software SPSS Statistics versión 27.
Tercera etapa	Mapa cartográfico	Software de Sistemas de Información Geográfica ArGIS versión 10.2.1
	Análisis de la calidad del agua	Equipos: Multiparamétrico Hanna Instruments HI 9829, Fotómetro HI 83099. Materiales: Reactivos para la calidad del agua y cristalería.

Preparación

Las acciones de cada una de las etapas realizadas en la metodología de este estudio se concentran en la siguiente tabla, mostrando además el esquema representativo de ambos modelos acuapónicos.

Tabla 2. Descripción la preparación de las acciones desarrolladas en cada etapa de la metodología del estudio. Elaboración propia.

Etapas de la metodología	Acciones por etapas	Preparación de las acciones desarrolladas.
Primera	Medición de parámetros en producción acuícola	Se determinó la periodicidad y toma de muestra de la especie acuícola para la realización de biometrías correspondientes
	Prototipo de balsas flotantes 	Se instaló el sistema acuapónico mediante la integración de un estanque de 1.7 m ³ de capacidad con 100 organismos de la especie acumara, sistema de filtración biológica con tezontle como tratamiento de agua, sistema de cultivo de lechugas con balsas flotantes y sistema de desagüe y de retorno del agua al estanque de cultivo.
	Prototipo NFT 	Se instaló el sistema acuapónico mediante la integración de un estanque de 1.7 m ³ de capacidad con 200 organismos de la especie acumara, sistema de filtración biológica con tezontle como tratamiento de agua, sistema de cultivo de lechugas con tubería de PVC sanitario adaptado como NFT y sistema de desagüe y de retorno del agua al estanque de cultivo.
Segunda	Estadísticos descriptivos	Se generaron las bases de datos de los parámetros medidos en cada uno de los modelos acuapónicos
Tercera etapa	Mapa cartográfico	Para generar el mapa cartográfico se generó una base de datos con las coordenadas de los sitios en formato de texto para poderlas manipular en el SIG y generar el mapa cartográfico.
	Análisis de la calidad del agua	Para cada punto seleccionado estratégicamente se hizo una recolección de muestra de agua in situ y se analizaron datos directamente en laboratorio.

Desarrollo

En la siguiente tabla se describe el proceso llevado a cabo para cada una de las acciones en las tres etapas que constituyen la metodología de esta investigación.

Tabla 3. Descripción del proceso desarrollado por cada acción comprendida en las etapas de la metodología del estudio. Elaboración propia.

Etapas de la metodología	Acciones por etapas	Descripción del proceso desarrollado
Primera	Medición de parámetros en producción acuícola	Para dar seguimiento al crecimiento de los peces se hicieron biometrías de forma mensual seleccionando de forma aleatoria 20 organismos para balsas flotantes y 30 para sistema NFT.
	Prototipo de balsas flotantes	Se llevó a cabo el seguimiento al funcionamiento adecuado del modelo, monitoreando los sistemas de recirculación, aireación, filtración biológica y de producción acuícola y vegetal.
	Prototipo NFT	Se llevó a cabo el seguimiento al funcionamiento adecuado del modelo, monitoreando los sistemas de recirculación, aireación, filtración biológica y de producción acuícola y vegetal.
Segunda	Estadísticos descriptivos	Los datos obtenidos, se capturaron y posteriormente se procesaron en el software, obteniendo como resultado los gráficos y tablas del análisis estadístico descriptivo
Tercera etapa	Mapa cartográfico	Una vez que se evaluó la viabilidad del prototipo se determinaron puntos estratégicos para la toma de muestras y análisis de agua. Estos puntos se definieron de acuerdo a la posibilidad de tener beneficiarios interesados y a la disponibilidad de agua con una calidad aceptable para la actividad acuícola.
	Análisis de la calidad del agua	Para el análisis de la calidad del agua se evaluaron trece parámetros los cuales son nitratos, nitritos, amonio, DQO, cloro, turbidez temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, salinidad, sólidos disueltos y pH.

Resultados y discusión

Primera etapa: Base de datos de biometría en los dos modelos acuapónicos de estudio.

Los datos obtenidos respecto a las biometrías de peces para valorar la producción acuícola en los dos modelos acuapónicos probados, constituyen los resultados de la primera etapa, mismas que sirvieron como base para el análisis estadístico que es la parte fundamental de este estudio.

Segunda etapa: Análisis estadístico.

1) Estadística descriptiva del modelo de balsas flotantes.

Tabla 4. Resumen de la estadística descriptiva de la biometría de los peces en el modelo o prototipo de balsas flotantes. Elaboración propia.

		Estadísticos							
		Talla (cm) 1	Peso (gr) 1	Talla (cm) 2	Peso (gr) 2	Talla (cm) 3	Peso (gr) 3	Talla (cm) 4	Peso (gr) 4
N	Válido	20	20	20	20	20	20	20	20
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0	0
Media		11,225	14,45	11,330	17,10	11,125	15,40	11,890	16,765
Error estándar de la media		,1393	,953	,1744	1,056	,1917	,941	,3603	1,7837
Mediana		11,000	16,00	11,000	17,00	11,150	15,50	11,750	14,000
Moda		11,0 ^a	17	11,0	12 ^a	12,0	12	10,5 ^a	13,0
Desv. Desviación		,6231	4,261	,7801	4,723	,8571	4,210	1,6111	7,9769
Varianza		,388	18,155	,609	22,305	,735	17,726	2,596	63,631
Asimetría		,195	-1,195	,651	,307	-,614	,098	,884	3,057
Error estándar de asimetría		,512	,512	,512	,512	,512	,512	,512	,512
Curtosis		-,199	2,826	,031	-,776	,305	-,516	,527	11,553
Error estándar de curtosis		,992	,992	,992	,992	,992	,992	,992	,992
Rango		2,5	20	3,0	17	3,4	16	5,9	39,0

La tabla anterior muestra las medidas de tendencia central y de dispersión de las muestras analizadas con tamaño $n=20$, se observa que en cada par de medidas (talla y peso) existe una relación de crecimiento, en el que el peso promedio va incrementando en cada muestreo a medida que avanza el tiempo, en la muestra dos se identifica una mayor diferencia entre las medias de talla y peso, mientras que en la muestra uno se observa la menor diferencia de medias. Con respecto a la medición de la talla, la primer muestra tiene un valor menor en estadístico de desviación estándar y se va incrementado hasta la muestra cuatro, respecto al peso, el mismo indicador refiere el mismo comportamiento, el rango demuestra un proceso similar en cuanto a talla y el peso tiene mayor variabilidad.

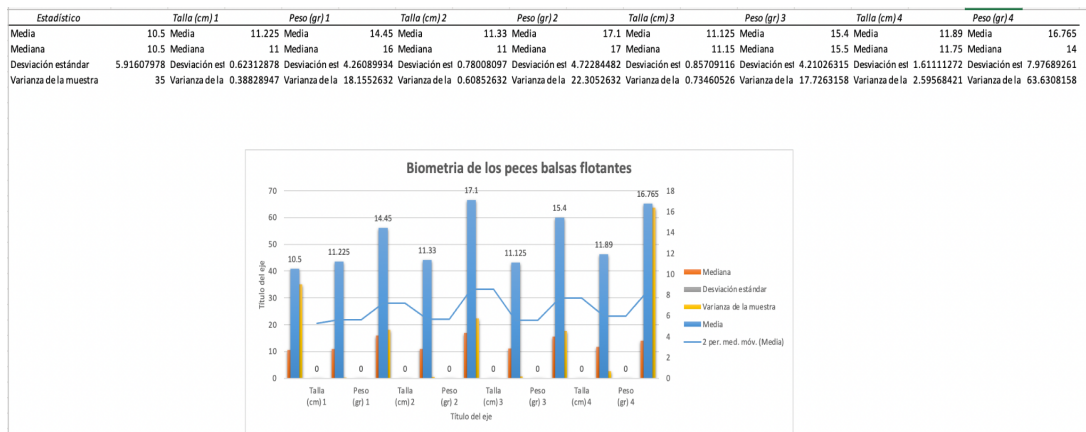
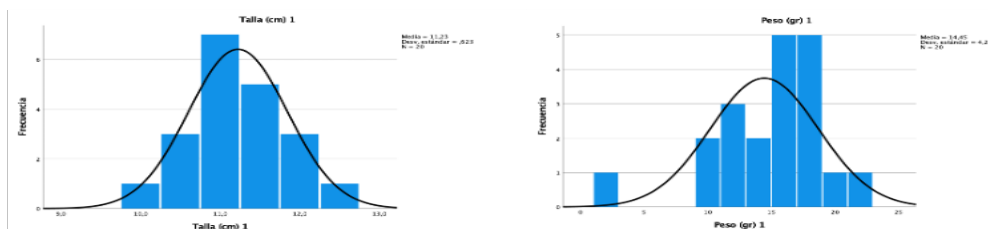


Figura 1. Comparativo de la media, biometría de los peces en el modelo del prototipo de balsas flotantes. Elaboración propia.

El comparativo de estadísticos, señala la tendencia de las medias de talla y peso de las muestras seleccionadas, en el sistema de balsas flotantes, se observa un crecimiento variable de las especies, con tendencia a la alta. Las siguientes gráficas muestran, mediante histogramas, el comportamiento de los pares de medidas, contrastadas con la distribución normal, se toman en cuenta datos estadísticos de la media, desviación estándar y tamaño de la muestra. En general, indican un comportamiento normal de acuerdo a la curva presentada.



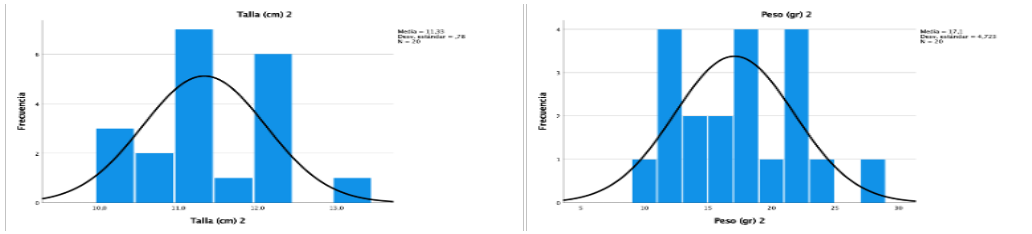


Figura 2. Histogramas comparativos con distribución normal. Elaboración propia.

2) Estadística descriptiva del modelo NFT.

Tabla 5. Resumen de la estadística descriptiva de la biometría de los peces en el modelo del prototipo NFT. Elaboración propia.

Estadística descriptiva NFT							
Talla (cm) 1	Peso (gr) 1	Talla (cm) 2	Peso (gr) 2	Talla (cm) 2	Peso (gr) 2	Talla (cm) 2	Peso (gr) 2
Media	12.1	Media	16.44	Media	12.23	Media	19.97
Mediana	12.1	Mediana	14.00	Mediana	12.00	Mediana	18.00
Desviación es	1.7	Desviación es	5.99	Desviación es	1.17	Desviación es	7.94
Varianza de la	3.0	Varianza de la	35.82	Varianza de la	1.37	Varianza de la	63.07

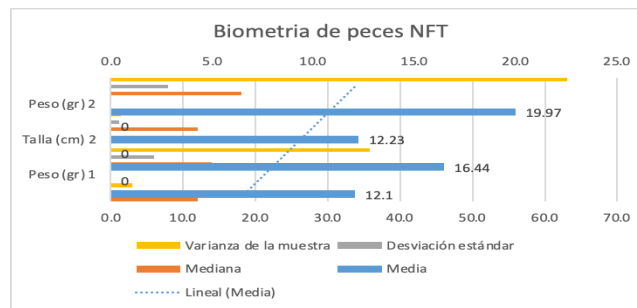


Figura 3. Comparativo de la media, biometría de los peces prototipo NFT. Elaboración propia.

La tabla 5 y figura 3, muestra el comportamiento de los datos estadísticos descriptivos, se observa el crecimiento promedio de las especies en estudio y la tendencia positiva hacia el incremento, la desviación estándar de los datos es menor a medida que transcurre el tiempo, significando una relación más fuerte entre la talla y el peso.

3) Análisis comparativo entre los modelos del prototipo balsas flotantes y NFT.

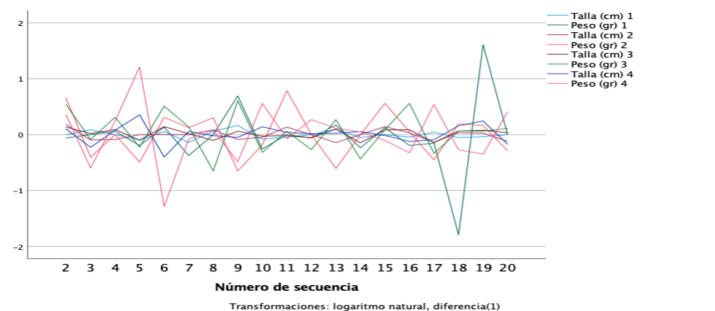


Figura 4a. Secuencia de comportamiento del modelo de balsas flotantes. Elaboración propia.

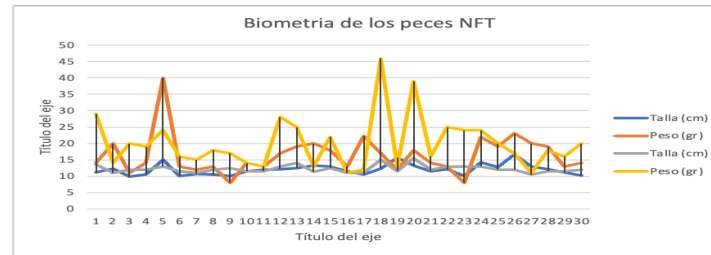


Figura 4b. Secuencia de comportamiento del modelo NFT. Elaboración propia.

Las figuras 4a y 4b, muestran el comportamiento secuencial de los datos de talla y peso, se observa un movimiento positivo y más uniforme con la aplicación del modelo NFT; en el caso del modelo balsas, se incluyen valores negativos que indican una fuerte influencia y afectación de otras variables no incluidas, como tal pueden ser la temperatura y materiales que componen cada sistema.

4) Correlación entre variables, tendencia y ecuación de pronósticos de los modelos balsas flotantes y NFT.

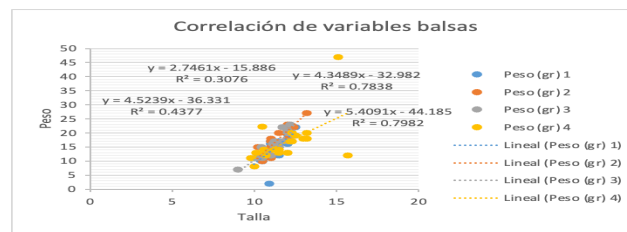


Figura 5a. Correlación entre variables del modelo balsas flotantes. Elaboración propia.

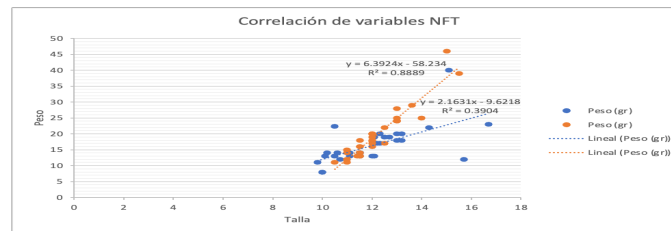


Figura 5b. Correlación entre variables del modelo NFT. Elaboración propia.

Las figuras 5 muestran la correlación que existe entre el peso (variable dependiente) y la talla (variable independiente), el modelo balsas (fig. 5a) muestra una correlación positiva creciente, con un crecimiento de correlación con inicio de .30 y final de .79, además con una ecuación de pronóstico determinada por una pendiente positiva de 5.40x.

El modelo NFT identifica una mejor correlación entre las variables en estudio, con un valor final de .88, además la ecuación de regresión estimada señala un mayor valor positivo de la pendiente con 58.23x Por lo anterior se considera que se logran mejores resultados con el modelo NFT (fig. 5b).

Tercera etapa.

En esta etapa, se definen las zonas estratégicas de la región lacustre de Pátzcuaro, Michoacán a partir del análisis de los recursos y se establecen en el mapa cartográfico. De las zonas definidas se realiza un análisis de calidad del agua al 75% de las ocho comunidades consideradas con condiciones adecuadas para la transferencia del modelo de acuaponía.

1) Mapa cartográfico

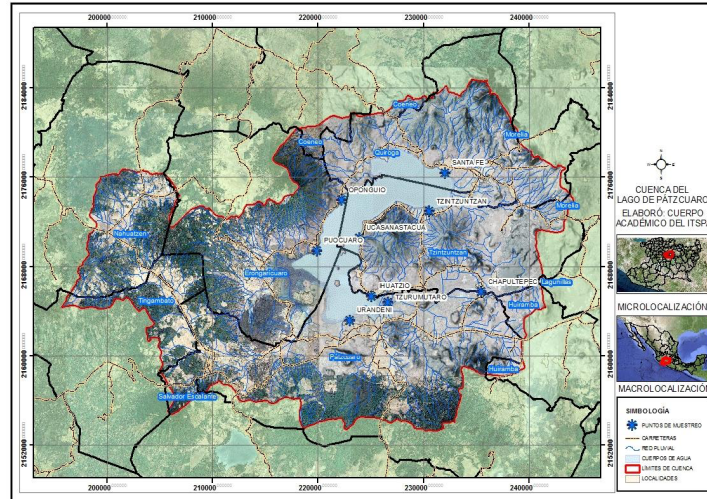


Figura 6. Mapa cartográfico de la región lacustre de Pátzcuaro, Michoacán, con las 8 zonas seleccionadas que contienen condiciones adecuadas para la transferencia del modelo de acuaponía. Elaboración propia.

2) Análisis de calidad del agua

Tabla 6. Resultados del análisis de la calidad del agua del 75% de las zonas estratégicas seleccionadas. Elaboración propia.

PARÁMETRO	N-TZURO	C-TZURO	N-CHAPULTEPEC	M-CHAPULTEPEC	MUELLE-UCAZ	N-URANDENI	UNIDADES
DQO	0.00	3.50	0.00	0.00	30.00	0.00	mg/L
CLORO	0.03	0.06	0.00	0.00	0.04	0.00	mg/L
NO ₃ ⁻	0.50	0.00	8.20	5.80	1.50	1.56	mg/L
NO ₂ ⁻	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	0.02	mg/L
TURBIDEZ	0.70	0.00	2.70	4.50	44.40	5.50	FNLU
TEMP	18.40	22.26	18.28	18.35	25.01	19.96	°C
O ₂	0.38	5.96	3.27	7.75	3.94	1.48	mg/L
PH	7.30	7.72	7.40	7.43	8.98	7.17	
NH ₃	0.00	0.00	0.00	0.03	0.12	0.00	mg/L
CONDUCTIVIDAD	1106	196	491	153	1155	213	µs/cm
SALINIDAD	0.00055	0.0001	0.00024	0.00007	0.00057	0.0001	mg/L
SDT	553	100	247	76	577	107	mg/L

Trabajo a futuro

Este trabajo conforma una fase inicial de un proyecto de investigación de transferencia de un modelo de acuaponía adecuado para las condiciones ambientales y sociales que presenta la región lacustre de Pátzcuaro, Michoacán. Por lo que, se proyecta a futuro una vez definido el modelo acuapónico, su transferencia a la zona considerada como estratégica, de acuerdo a la metodología aplicada por el equipo de investigación.

Conclusiones

A partir de la metodología aplicada se concluye que según las biometrías obtenidas, las condiciones óptimas para el crecimiento de la especie acuícola, resultaron en el modelo NFT de acuerdo a que es mayor el índice de correlación de variables correspondiendo este a 0.88 en comparativo con 0.79 del modelo de balsas flotantes, además de un valor positivo de la pendiente que incrementa el pronóstico con 58.23X. Con esto se comprueba la hipótesis planteada "El análisis estadístico de los parámetros de producción de los prototipos acuapónicos, permite la toma de decisión estratégica del modelo óptimo para su transferencia", y se considera para su transferencia el modelo NFT.

Aunado a lo anterior, con la metodología aplicada se cumple el objetivo planteado sobre realizar un análisis estadístico a partir de parámetros de producción acuícola en dos modelos acuapónicos, que fundamente la toma de decisión estratégica del modelo óptimo para su transferencia tecnológica en la zona lacustre de Pátzcuaro, Michoacán, México.

Los resultados encontrados en las pruebas realizadas a los modelos balsas y NFT, permiten establecer una base sólida para realizar las transferencias de tecnología a los ocho puntos estratégicos de la zona lacustre del Lago de Pátzcuaro. Lo anterior, se establece como una proyección de trabajo a futuro por parte del equipo investigador.

Agradecimientos

Esta investigación fue realizada con financiamiento del Tecnológico Nacional de México (TecNM) y gobierno del Estado de Michoacán, a través de la participación del Cuerpo Académico Gestión para la Innovación Sustentable (CAEC-ITSPA-01) del Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro (ITSPA) en la convocatoria para el desarrollo de proyectos de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación 2022, con el apoyo del Director General del ITSPA C.P. J. Jesús Vega Covarrubias, y en colaboración con el Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera (CRIAP) del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA).

Referencias

- [1] M. R. González y I. Brunner. "Participación solidaria para el desarrollo comunitario en México: el caso del Consejo Ciudadano de la Región Lacustre de Pátzcuaro, Michoacán, México", *Revista Academia Bianual de la Facultad de Ciencias de la Gestión*, Núm. 26, pp. 83-115, Septiembre 2018. [online]. Disponible: <http://fcg.uader.edu.ar/images/fcg/Revista%20Digital/Tiempo%20de%20Gestion%2026%20interactivo.pdf>
- [2] M.S. Roza, D. Quintero, "Estudio del plan de negocio de producción de tilapia y lechuga basado en la técnica de acuaponía en el municipio de Quetame Cundinamarca. Trabajo para obtención de Especialidad en Gestión de Proyectos. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia, pp. 10, 2020.
- [3] J. Pérez, J. Velasco y L. Reyes, "Estudios sobre agricultura y conocimiento tradicional en México", Núm. 11, 144-156 pp, 2014.
- [4] A.C. Quiquinlla, P. Yance, P. Quiquen, P. y S. Tinco, " Estudio de Prefactibilidad del sistema autosustentable de acuaponía para producir alimentos orgánicos, peces y biosólido en un acuífero". Tesis para obtención de grado en Ingeniería Ambiental. Universidad San Ignacio de Loyola. Lima, Perú, pp. 10-12, 2021
- [5] W.R. Stahel. "The circular economy" *Nature*. 24;531(7595):435-8. doi: 10.1038/531435a. PMID: 27008952, 2016
- [6] W. Agudelo, "Propuesta de un sistema de acuaponía para promover la agricultura sostenible y mejorar la economía del municipio de Tibacuy, caso de estudio Finca Los Naranjos. Tesis para la obtención del grado de Ingeniería Ambiental. Universidad El Bosque. Bogotá, Colombia, pp. 12-15, 2021
- [7] E. Cerdá & A. Khalilova. "Economía Circular" *Revista Economía Industrial*, No. 401, pp. 11-20. 2016.
- [8] A. J. Ortega y K. Marín "La innovación social como herramienta para la transformación social de comunidades rurales", *Revista virtual Universidad Católica del Norte*, Núm. 57, pp. 87-99, agosto 2019. [online]. Disponible: <https://doi.org/10.35575/rvucn.n57a7>
- [9] J. Kourdi, "Estrategia claves para tomar decisiones en los negocios", *Telos. Revista de estudios interdisciplinarios en ciencias sociales*, Núm. 2 Vol. 11, pp. 266-268, 2009. Disponible: <https://biblat.unam.mx/es/revista/telos-revista-de-estudios-interdisciplinarios-en-ciencias-sociales/articulo/kourdi-jeremy-estrategia-claves-para-tomar-decisiones-en-los-negocios-editorial-cuatro-media-2008>
- [10] Candarle, P. (2015), Centro Nacional de desarrollo Acuícola (CENADAC), "Técnicas de acuaponía", 1- 47 pp.
- [11] F. A. Haro, N. C. Córdova y M. A. Alvarado, "Importancia de la innovación y su ejecución en la estrategia empresarial", *Innova Research Journal*, vol. 2, pp. 88-105, abril 2017. [online]. Disponible: <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n5.2017.167>

LA IMPORTANCIA DE LAS ESTRATEGIAS DE COMERCIALIZACIÓN DE LA PIMIENTA

M. L. Ruiz Tejeda^{1*}, P. L. Tejeda Polo², E. Juárez Martiñón³,

¹Academia de Ingeniería en Gestión Empresarial, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II s/n Aire Libre, Teziutlán, Puebla, México [*maria.rt@teziutlán.tecnm.mx](mailto:maria.rt@teziutlán.tecnm.mx)

²Academia de Ingeniería en Gestión Empresarial, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II s/n Aire Libre, Teziutlán, Puebla, México patricia.tp@teziutlán.tecnm.mx

³Academia de Ingeniería en Gestión Empresarial, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II s/n Aire Libre, Teziutlán, Puebla, México edmudo.jm@teziutlán.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

RESUMEN

Los Productores de Pimienta del municipio de Hueytamalco, Puebla, han desarrollado la actividad agrícola durante muchos años, volviéndose en una fuente de ingresos que les permite solventar sus gastos.

Dentro del municipio de Hueytamalco, las comunidades que más aportan a la producción de Pimienta en el municipio son San Antonio, La Soledad Tenexapa y Arroyo blanco, con una producción aproximadamente de 2-7 toneladas por cosecha, la cual se da anualmente. Sin embargo, la comercialización de esta especia carece de conocimientos y herramientas, surgiendo como consecuencia un bajo rendimiento económico, siendo los productores los más afectados, ya que, para algunos, esta actividad es su única fuente de ingresos.

Es importante señalar que la identificación de oportunidades representa una gran oportunidad para los productores y trae consigo una serie de beneficios para la región ya que se potencializa la economía.

Palabras clave: Modelo, productores, estrategias, comercialización.

ABSTRACT

The Pepper Producers of the municipality of Hueytamalco, Puebla, have developed agricultural activity for many years, becoming a source of income that allows them to cover their expenses.

Within the municipality of Hueytamalco, the communities that contribute the most to pepper production in the municipality are San Antonio, La Soledad Tenexapa and Arroyo Blanco, with a production of approximately 2-7 tons per harvest, which occurs annually. However, the marketing of this spice lacks knowledge and tools, resulting in low economic performance, with the producers being the most affected, since, for some, this activity is their only source of income.

It is important to point out that the identification of opportunities represents a great opportunity for producers and brings with it a series of benefits for the region, since the economy is potentiated.

Key words: Model, producers, strategies, marketing

INTRODUCCIÓN

Actualmente se producen cantidades importantes de Pimienta en el país que se determina en México se cuenta con un volumen de producción de 7,951 toneladas, siendo el estado de Puebla el segundo productor con 891.13 toneladas, así mismo el Municipio de Hueytamalco produce alrededor de 89.5 toneladas [1].

La pimienta es un fruto que ha sido históricamente utilizado en la condimentación de los alimentos sin embargo tiene múltiples propiedades entre ellas medicinales por lo que tiene una comercialización importante su historia se remonta los tiempos de Carlo Magno en Oriente alrededor del año 408 AC.

Por lo que este producto representa un área de oportunidad, aunque su producción no es considerada como primordial en este Municipio ya que la gran mayoría la cultiva en el traspatio o como árboles de sombra para las siembras de café, la comercialización es uno de los principales problemas para los productores ya que no se tienen establecidas estrategias concretas. Esto representa un área de oportunidad para los productores de esta especia, que es valorada en el mercado por sus múltiples propiedades y es conocida en todo el mundo y sus

usos van desde un condimento hasta considera su uso farmacéutico.

Por ello surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las estrategias de comercialización más adecuadas para ser aplicadas a la comercialización de la pimienta en Hueytamalco Puebla?

Objetivos

Objetivo general

Identificar alternativas de comercialización de la pimienta en la región, mediante un análisis del entorno, para identificar áreas de oportunidad.

Objetivos Específicos

- Analizar los métodos de comercialización de la pimienta en la región de Hueytamalco, con ayuda de entrevistas a los productores para identificar qué áreas no se están cubriendo.
- Determinar las áreas de oportunidad para o los productores de la pimienta de Hueytamalco por medio del análisis de datos recolectados de la población.

Preguntas de investigación

¿La comercialización de la pimienta se da de forma adecuada?

¿Qué elementos deben ser considerados para establecer una comercialización más importante?

Justificación

Durante años el mercado de la pimienta se ha visto reducido a pequeños avances que han mejorado en algunos momentos el entorno para los productores de esta especia, como son la creación de cooperativas que pretenden regular o apoyar su comercialización, sin embargo no existe un verdadero interés de estas organizaciones en trabajar mano a mano con los agricultores para conseguir productos de calidad y que estos se comercialicen de forma adecuada produciendo con ello un impacto económico importante para las regiones en donde se cultiva. Así pues, se debe señalar que actualmente los modelos de negocio más comunes en la zona son las cooperativas cuya función es el acopio y comercialización que genera ganancias para los productores, sin embargo, no se han obtenido los beneficios esperados.

Siendo por ello importante la generación de alternativas que brinden nuevos caminos para los productores siendo uno de los sectores primarios de atención pues pueden ser generadores de empleo que eleva la calidad de vida de los pobladores, así como el posible desarrollo económico de la región.

Es de igual forma importante señalar que cada región productiva tiene sus características propias, mientras algunas su fuente preponderante es el cultivo de la pimienta en otras es un producto secundario sin embargo en Pueblas se tiene un producto de calidad importante, por lo que lograr avances en este ámbito lleva a un beneficio importante para los mismos productores como para la economía en general de la región.

Contexto general de la investigación

Hueytamalco

La palabra Hueytamalco, proviene de dos vocablos "huey", grande; "temo", bajar, descender, y "ahco", arriba, formándose el siguiente significado: "Grandes Bajadas, Grandes Subidas" o "Cuestas muy Inclinadas".

Hueytamalco tiene un gran significado, es sinónimo de fertilidad, un lugar sumamente rico por su ecosistema y clima, una región donde más del 50% de población se dedica al campo, en donde florecen infinidad de flores y frutos, sobre todo el café, el plátano y limón persa. Esta región es reconocida por la calidad de sus grandiosos frutos, su gente trabajadora, humilde y sus atractivos naturales. [2]

Historia de la Pimienta

La pimienta fue una de las primeras especias que se introdujeron a Europa con la apertura del comercio terrestre con el Oriente. Nativas de la India, las plantas de pimienta fueron llevadas a Indonesia por los colonizadores hindúes más o menos 100 A.C y de Indonesia a Malasia unos 600 años a.C. Muchos siglos después, cuando se descubrieron las rutas marítimas a las Indias Orientales, los portugueses, españoles, franceses, ingleses y holandeses se interesaron en el lucrativo negocio de las especias del Lejano Oriente hacia Europa y en los años siguientes hacia el nuevo mundo. [3]

La pimienta mexicana se denomina pimienta gorda y es utilizada desde hace mucho tiempo por distintas comunidades indígenas en donde se le conoce por su nombre náhuatl: Xocosuchil [4]

La pimienta se ha convertido en un gran condimento para las comidas, sin embargo, su uso se extiende a su uso en la salud ya que tiene propiedades que permiten ayudar al cuidado de la piel, la digestión, la bronquitis y más, por lo que tiene infinitas posibilidades de uso a diferencia de algunas plantas que solo son usadas como condimento o saborizante.

Canales de distribución

Se conocen como medios que tienen un papel preponderante que tiene el propósito de distribuir de una manera eficaz los bienes que se comercializan dentro del mercado, ayudando a las organizaciones a que sus productos lleguen a manos del cliente final. Se puede definir entonces como “Grupo de intermediarios relacionados entre sí que lleva a los productos y servicios a los consumidores y usuarios finales” [5].

Comercialización

La comercialización es el conjunto de acciones y procedimientos para introducir eficazmente los productos en el sistema de distribución. Considera planear y organizar las actividades necesarias para posicionar una mercancía o servicio logrando que los consumidores lo conozcan y lo consuman. [6].

Por lo que se puede plantear que la comercialización es una forma en que los productos o servicios se vuelven atractivos para el mercado mediante una serie de estrategias que permiten la identificación de áreas de oportunidad para ingresar y competir con estándares de calidad.

Alcance de la investigación

La investigación realizará un análisis de la información para identificar áreas de oportunidad para la comercialización de la pimienta que favorezcan las ganancias de los productores de pimienta.

Limitaciones

Falta de organización de los productores al no tener estandarizados los procesos de cultivo y comercialización de la pimienta, así mismo la investigación se realiza en un periodo complicado por la pandemia, por lo que los medios digitales jugaron un papel importante, aunque a su vez una limitante en el desarrollo del proyecto

METODOLOGÍA

Se realiza un estudio no experimental, al no manipular las variables pues solo se analizan, transversal ya que se realiza la recolección de los datos en un momento de establecido, así mismo se establece la población tomando en cuenta los municipios de Teziutlán, Chinautla y Hueytamalco, a las mujeres de entre 25 y 35 años dando un total de 9,831 elementos.

Tabla 1. Población meta del estudio

Variable de segmentación	Descripción
Geográfica	País: MEXICO Estado: Puebla Región: Teziutlán, Chignautla y Hueytamalco
Demográfica	Ocupación: amas de casa, personas que cocinen Ingreso: 4 - 20 salario mínimo mensual
Psicográfica	Clase social: C-,D+,D Estilo de vida: Población activa, cocinan. Edades:25 a 35 años

	Motivo racional: Precio, calidad
Conductual	Uso: Adquieren el producto para complementar alimentos, tienen conocimientos de especias.

Por lo que se procede a sacar una muestra mediante la fórmula de poblaciones finitas con un grado de confiabilidad del 95% y se obtiene el número de 370 elementos muestrales a los cuales se les aplicará un instrumento mediante la técnica de la encuesta con un cuestionario de 7 preguntas fundamentales que contemplan las variables del estudio, distribuidos de acuerdo a la población de la siguiente forma Teziutlán 233 elementos, Chignautla 56 elementos y Hueytamalco 78 elementos para lograr la significancia de los resultados.

Así mismo se realiza la recolección de datos, con los productores de la pimienta en el municipio objeto de estudio por medio de entrevistas.

Por otro lado, se e realiza un diagnóstico mediante el Análisis FODA para tratar de entender el entorno de investigación.

Tabla 2. Análisis FODA. Creación propia

EXTERNAS	OPORTUNIDADES (O)	AMENAZAS (A)
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Liberarse de los intermediarios. 2. Oportunidades de exportación. 3. Proyectos destinados al campo. 4. Alta demanda de Pimienta en el mercado. 5. Prestigio de la Pimienta a nivel estado. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mano de obra escasa. 2. Competencia con mayor capital y oportunidades para poder comercializar. 3. Nuevos competidores con mejores oportunidades. 4. Están sujetos al precio que les ofrezca el intermediario o coyote. 5. Se mantienen a la espera de que el intermediario requiera el producto y lo compre.
INTERNAS		
FORTALEZAS (A)	F.O	F.A
<ol style="list-style-type: none"> 1. Se cuenta con bienes propios para la siembra. 2. Se cuenta con un producto de calidad 3. Mano de obra propia (los mismos productores se encargan de cortar su cosecha) 4. Se generan más utilidades que inversiones. 5. Creadores de fuentes de empleo en el municipio y comunidades. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. F2y O2, se crean las estrategias y normas necesarias que abran paso a la exportación de la especia. 2. F1 con A4, al contar con los bienes propios, se puede integrar un proyecto del gobierno que permita explotar las tierras y percibir mayores ingresos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. F4 con A3, realizar una optimización en los costes, para que los productores tengan un mejor panorama de cómo aprovechar la oportunidad de generar más utilidades que inversiones y empiecen a ser más competitivos en el mercado. 2. F5 con A1, al ser creadores de fuentes de empleo, se elabora una serie de técnicas para reclutamiento, que permitan atraer mano de obra.

DEBILIDADES (D)	D.O	D.A
<p>1.Falta de capital para implementar nuevos procesos.</p> <p>2.Participación de intermediarios que impiden más entrada de ingresos a los productores.</p> <p>3.Los productores otorgan crédito.</p> <p>4.El producto no es bien valorado por parte de los intermediarios o coyotes.</p> <p>5.Desconocimiento de algunos procesos de producción.</p>	<p>1.D1 con O2, se realiza una solicitud en las convocatorias que están destinadas para el apoyo del campo.</p> <p>2.D5 con O4, se imparten capacitaciones a los productores, sobre Reingeniería de procesos, para adquirir los conocimientos necesarios y con ello aprovechar la alta demanda que existen de la Pimienta en el mercado.</p>	<p>1. D2 con A4, A5, realizar un estudio de mercado para determinar estrategias de comercialización y lograr que los productores de Pimienta obtengan las herramientas necesarias para competir en el mercado.</p>

Después de realizar el análisis FODA que sirve como punto de partida para determinar con mayor claridad las áreas de oportunidad de la comercialización de la pimienta, se realizó la recolección de datos a la muestra estadística señalada en donde se logran obtener datos valiosos que llevan a la estructura de la propuesta, así como la recolección de datos obtenidos de los productores en cuanto a la situación actual de ellos y sus necesidades, por lo que se tuvieron reuniones tanto presenciales como virtuales lo que represento un gran reto debido a la lejanía y la propia conectividad en algunas regiones de la zona de estudio.



Figura 1. Reunión virtual con productores

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis FODA que se realizó, se lograron detectar los factores claves que permitan tener éxito a los productores de Pimienta del municipio de Hueytamalco, Puebla, resaltando las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, donde se demostró que pueden lograr tener una óptima comercialización de su pimienta, ya que, si implementan las estrategias establecidas en la matriz FODA, pueden ser grandes competidores en el mercado, y dar a conocer su producto, así como también generar un valor del mismo, haciendo mención de que producen un producto de calidad, del cual pueden sacar el mayor provecho, y lograr

la exportación de este.

Por otro lado, como en toda empresa, existen las variables externas, que son las que no se pueden controlar, en el caso de los productores de Pimienta, estas variables les impiden generar más ingresos, ya que, como se mencionó, una de las amenazas que se tienen es que están sujetos al precio que los intermediarios les otorguen, sin embargo, si se incorpora algún tipo de maquinaria para el proceso de secado y desgranado de la Pimienta, los productores pueden liberarse de los intermediarios y lograr vender su producto al mejor comprador, y así obtener ingresos superiores.

Por otro lado, los resultados de la encuesta a los consumidores apuntan a los siguientes resultados

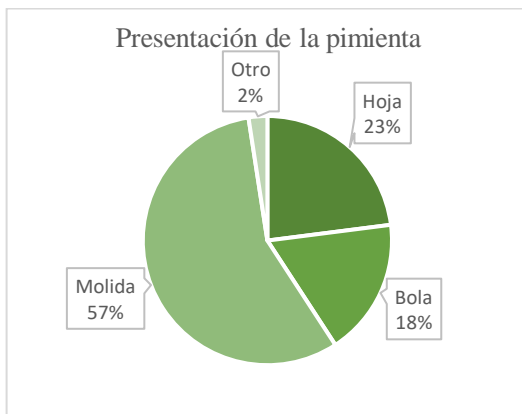


Figura 2. En qué presentación le gusta adquirir la pimienta

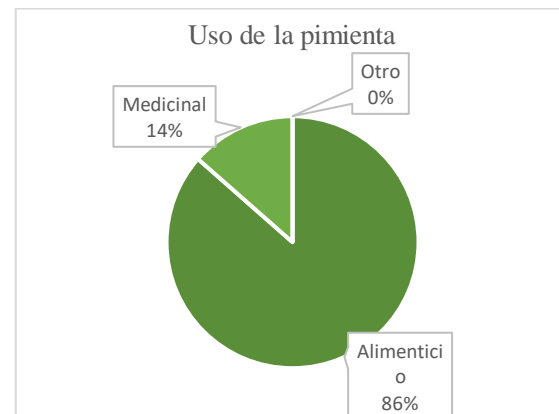


Figura 3. Con que fin utiliza la pimienta

Como se puede visualizar la mayoría del consumo de la especia es molida, por lo que es importante realizar acciones que lleven al consumo de la misma en las tres presentaciones.

La finalidad de uso de la pimienta es potencialmente inclinada al consumo alimenticio, dejando de lado sus propiedades medicinales.

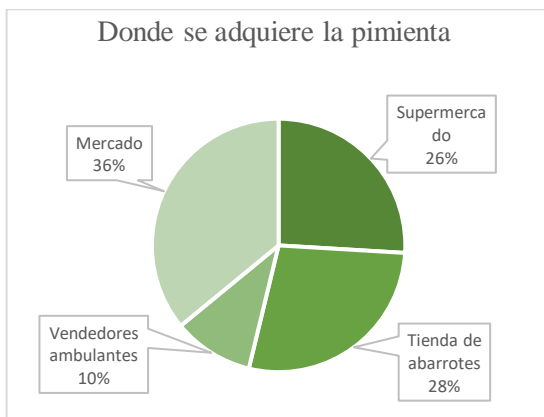


Figura 4. En donde se adquiere el producto

Como se observa el porcentaje mayor está en los mercados, seguido de las tiendas de abarrotes lo cual representa un área de oportunidad importante para la comercialización

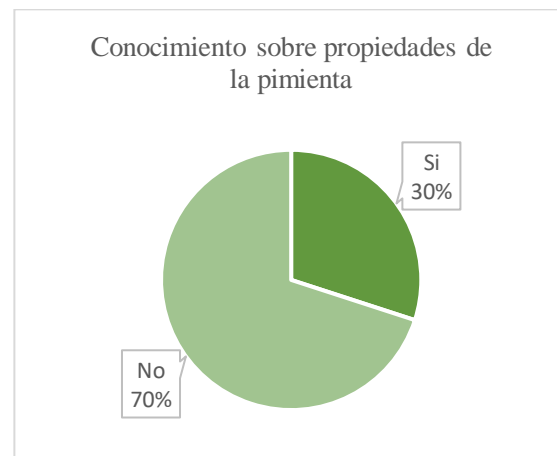


Figura 5. Beneficios de la pimienta

Los consumidores no conocen las propiedades de la pimienta por lo que es importante estructurar estrategias para que se conozcan todas las propiedades y esto propicie un mayor consumo.

Determinando por tanto la preferencia en cuanto al consumo de la pimienta en la región, es preferentemente la presentación molida en los alimentos, que se desconocen las propiedades generales de la especia pudiendo tener áreas de impacto de forma posterior como la medicina, dando a conocer los beneficios del consumo. Así mismo se identificó en donde se da de forma mayor el consumo del producto que permite visualizar la probable

distribución del mismo.

La entrevista realizada con los productores arroja los siguientes resultados:

Existen productores que, a pesar de no poseer los conocimientos necesarios de distribución de un producto, optan por realizar esta actividad, ya que les genera un ingreso que les permite, hasta cierto punto, poder sustentar sus gastos y los de su familia. Por otro lado, la gran mayoría de la población de estudio, desconoce el impacto económico que tiene la Pimienta en el mercado, y la menor parte de ellos, si conoce el impacto que tiene la especia en el mercado. Así mismo se identifica que se considera un producto secundario por lo que la atención del productor es al café que manifiestan reditúa mayores ganancias, por lo que la pimienta es relegada a un segundo término y pudiera ser importante para potencializar la economía de la zona y la región.

Sus mayores compradores son intermediarios quienes fijan los precios de la pimienta, dejando sin opciones a los productores, teniendo mínimas ganancias en dicho producto, por lo que no se logra darle el valor adecuado. Haciendo necesario la implementación de una cadena de valor para la comercialización, así como la implementación de maquinaria adecuada que logre hacer que los productores le den mayor importancia a este cultivo.

Estableciendo tras el estudio las siguientes propuestas viables en la región:

- Comercialización de la pimienta a granel en distintos establecimientos como lo son, tiendas de abarrotes, tiendas de semillas y chiles secos
- Envasado y etiquetado de la pimienta para la venta a mayoreo en supermercados
- Venta del producto con la implementación de las redes sociales
- Comercialización directa a exportadores
- Creación de productos derivados de esta especie como lo son sazónadores o aderezos

TRABAJO A FUTURO

El campo es un área con muchas posibilidades de generar un impulso económico, sin embargo, se ha visto un serio abandono por parte de los productores al no tener las posibilidades de generar ganancias sino por el contrario muchas veces pierden, por este motivo es importante generar estudios o investigaciones que permitan dar un impulso a este sector. En el caso de la producción de la Pimienta se considera importante generar cadenas de valor que permitan establecer una cosecha adecuada, un tratamiento y procesamiento del grano, así como la comercialización y generación de subproductos de la misma con la finalidad de impulsar el desarrollo económico de las regiones productoras que proporcione una mejor calidad de vida a los productores y sus familias.

CONCLUSIONES

El objetivo fundamental de esta investigación fue Identificar alternativas de comercialización de la pimienta en la región, mediante un análisis del entorno, para identificar áreas de oportunidad, lo cual se cumple satisfactoriamente al realizar el análisis del contexto y los datos recabados tanto de los consumidores de la especia como los productores.

Señalando que se tienen muchas más áreas de oportunidad que fueron detectadas a través del estudio, como lo es la estandarización de la producción, así como del proceso de secado y desgranado de la pimienta, por lo que paralelamente se desarrolló una propuesta de modelo de utilidad de una máquina desgranadora de pimienta a bajo costo para los productores la cual está en revisión ante el IMPI

Por otro lado, los consumidores señalan que el consumo mayor de la pimienta molida la cual no es adquirida directamente de los productores ya que ellos no realizan este proceso, así como el desconocimiento del uso de la hoja de pimienta como condimento, así mismo se puede visualizar que no se han contemplado las propiedades medicinales de la misma, siendo esta otra área de oportunidad para introducir en el mercado.

Por lo que se debe reconocer que los productores de pimienta enfrentan grandes retos pues su situación es compleja en cuanto a la comercialización a causa de los intermediarios en el canal de distribución, que merman en mucho los ingresos. En este punto se puede considerar la organización de una especie de cooperativa que se ha dado en el estado para traer beneficios importantes a los productores no solo de la pimienta sino de varios productos al ser una región muy fértil. En este punto es importante señalar que, si han existido este tipo de

organizaciones, pero no han prosperado, por lo que se tendría que hacer un análisis minucioso al respecto para determinar la posibilidad de estructurar algún mecanismo que permita a los productores organizarse.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los productores de pimienta de Arroyo Blanco el apoyo para el desarrollo de la investigación, así como el trabajo de los alumnos involucrados en el proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. F. Santiago, «Oportunidades para la producción de pimienta en el estado de Puebla,» *El Economista*, 04 junio 2019.
- [2] Hueytamalco, «Agricultura en Hueytamalco, un lugar donde todo florece,» [En línea]. Available: <https://mihueytamalco.com/agricultura-en-hueytamalco/>. [Último acceso: 21 enero 2022].
- [3] InfoAgro, «El cultivo de la pimienta,» [En línea]. Available: <https://infoagro.com/aromaticas/pimienta.htm>. [Último acceso: 10 octubre 2021].
- [4] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, «Pimienta gorda, la pimienta mexicana,» 19 junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/pimienta-gorda-la-pimienta-mexicana-161905>.
- [5] L. Ficher y J. Espejo, *Mercadotecnia*, México: McGraw Hill, 2017.
- [6] Secretaría de Economía, «Comercialización,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/mexico-emprende/productos-servicios/comercializacion>.

Retos en la inclusión educativa superior para personas con discapacidad en Colima-Villa de Álvarez, Colima.

M.C. Pedraza Marín¹, M. Sánchez Losoya¹, J.C. Aréchiga Maravillas², X.M. Toscano Contreras¹,
L.K. Ayala Nuñez¹.

¹ Departamento económico administrativo, Tecnológico Nacional de México campus Colima, Av. Tecnológico No1, Colonia Liberación, C.P. 28976, Villa de Álvarez, Colima, México.

² Departamento de Ciencias básicas, Tecnológico Nacional de México campus Colima, Av. Tecnológico No1, Colonia Liberación, C.P. 28976, Villa de Álvarez, Colima, México.

*maria.pedraza@colima.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Aunque está en la ley desde hace diecisiete años en el estado de Colima [1], la educación para personas con discapacidad es un reto para la sociedad educativa, al no tener los recursos financieros para hacer las adecuaciones de infraestructura, así como el no poder obtener los materiales didácticos adecuados tales como libros, computadoras, softwares especializados, por último personal y comunidad docente sin la capacitación adecuada para lograr la inclusión en estudiantes con necesidades de comunicación diferente como es el lenguaje de señas Mexicano y lectura en braille lo que limita el interactuar con los estudiantes con discapacidad a nivel profesional, políticas institucionales limitativas y las instituciones educativas que cuentan con diversidad de opciones en la inclusión educativa superior no cuentan con la difusión adecuada.

Palabras clave: Discapacidad, Inclusión, Educación, Capacitación.

Abstract

The People's disabilities law has been with us for sixteen years [1], nevertheless, it is a challenge for the educational society itself, due the lack of financial resources to make adequate infrastructure and obtain the didactic materials like: books, computers, special software and teachers without the enough qualification to obtain the inclusion in the students that need them like: sign language Mexican and braille reading, these disabilities, limit interactions between students and teachers in professional level, institutional policies limitative and the educational institutions with diverse options in higher educational inclusion who do not have adequate dissemination.

Key words: Disability, Inclusion, education, Training.

Introducción

La ley general para la inclusión de las personas con discapacidad establece que la inclusión educativa es la que facilita la integración de personas con discapacidad a los planteles educativos, aplicando métodos, técnicas y utilizando materiales adecuados a la discapacidad del estudiante; con la finalidad de integrarse a la sociedad mexicana [2].

De acuerdo con Pérez-Castro, Judith [3] “La educación superior se ha caracterizado por ciertas prácticas que la han hecho históricamente elitista; por ejemplo, en la mayoría de los países, este nivel no es obligatorio, es decir, su acceso no está garantizado por el estado” lo que la ley anterior hace hincapié en los esfuerzos que se deben hacer a nivel básico en la educación en México, dejando de lado el nivel profesional.

Sin embargo, en México desde el 2011 se creó la ley general para la inclusión de las personas con discapacidad [2], en donde en particular el Art.12 establece el derecho a la educación de personas con discapacidad y la prohibición de cualquier discriminación en cualquier plantel o docente o administrativo del sistema educativo nacional.

En el 2005 Arnoldo Ochoa González, ex Gobernador Interino del Estado Libre y Soberano de Colima, fue el primero en crear decreto 201 la Ley para la integración y desarrollo social de las personas con discapacidad del estado de Colima [1]. La cual el artículo 24 establece que "Los establecimientos que impartan educación básica, normal, media superior y superior que formen parte del sistema educativo estatal, deberán integrar a sus aulas a personas con discapacidad sin discriminación alguna". Por lo que establece la precedente a la ley general en función a buscar la inclusión educativa a todos los niveles en el estado de Colima.

Ecos de la Costa dice que "La titular del Consejo Nacional para el Desarrollo y la Inclusión de las Personas con Discapacidad (CONADIS), Mercedes Juan López, sostuvo que el estado de Colima es pionero a nivel nacional en la inclusión de las personas con discapacidad y además se encuentra por encima de la media nacional en la atención a este sector vulnerable" [4].

Por ello, se supone que todas las instituciones educativas de Colima ya deberían estar preparadas para recibir a las personas estudiantes con discapacidad, así como, instalaciones adecuadas, el materiales y equipos necesario y con la comunidad docente y personal capacitado.

Para el INEGI se considera como persona con discapacidad [5] "aquella que declaró tener mucha dificultad o no poder realizar alguna de las siguientes actividades: ver, aun usando lentes; oír, aun usando aparato auditivo; caminar, subir o bajar; recordar o concentrarse; bañarse, vestirse o comer; hablar o comunicarse".

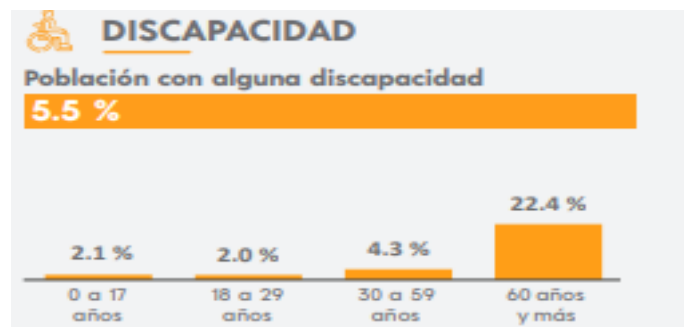


Imagen 1. Discapacidad en el Estado de Colima. INEGI.
Panorama Sociodemográfico de Colima. Censo población y vivienda 2020.

De acuerdo con el censo 2020, en México residen 7'168,178 personas con discapacidad que representa a nivel nacional el 5.69% de la población. Como podemos apreciar en la imagen 1 en el estado de Colima el 5.5% cuenta con alguna discapacidad, población que se convierte en una minoría vulnerable. [5]

Como podemos observar en la imagen 2 y 3 respectivamente ara el municipio de Colima se tiene un 6.1% y para el municipio de Villa de Álvarez un 4.3% de población con alguna discapacidad. [5]

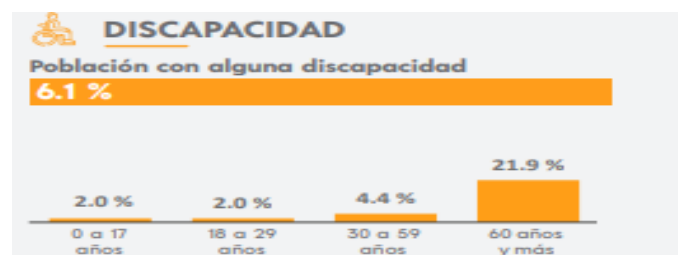


Imagen 2. Discapacidad en el Municipio de Colima. INEGI.

Panorama Sociodemográfico de Colima. Censo población y vivienda 2020.

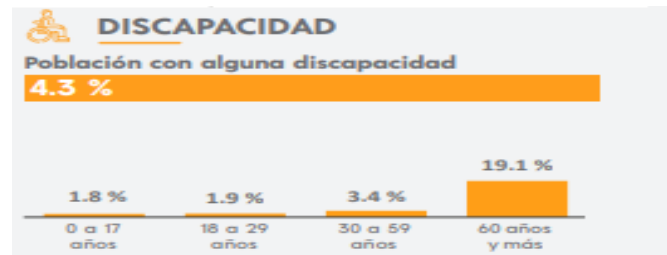


Imagen 3. Discapacidad en el Municipio de Villa de Álvarez. INEGI. Panorama Sociodemográfico de Colima. Censo población y vivienda 2020.

El objetivo de la investigación es conocer las limitantes y los retos en cuanto al acceso a la educación superior para personas con discapacidad.

Metodología

Se realiza una investigación cualitativa, de tipo exploratoria y descriptiva con el objetivo de conocer el estado de inclusión en las escuelas de nivel superior en la zona conurbada de Colima-Villa de Álvarez, Col.

Participantes

Se buscó acceso a la totalidad de las escuelas de nivel superior de la zona de estudio, sin embargo, solo se aplicaron instrumentos a las instituciones que accedieron a contestar, así que de un total de las doce escuelas privadas visitadas solo se consideraron diez instituciones y las cuatro escuelas públicas.

Investigación Documental

En primera instancia se necesitó realizar una investigación documental previa sobre el tema de la inclusión educativa en un nivel profesional.

1. Revisión de trabajos previos.
2. Legislación vigente.
3. Instituciones y asociaciones para personas con Discapacidad en Colima.

Instrumentos

Se realizaron dos instrumentos para la recolección de datos el primero una entrevista semiestructurada en las escuelas del municipio de Colima y Villa de Álvarez a nivel superior, en dichas escuelas se les aplicó un cuestionario abierto para la obtención de información que ayudará para analizar la situación en que está la zona conurbada de Colima-Villa de Álvarez, del estado de Colima en el tema de la inclusión en la educación.

El segundo una guía de observación de las instituciones educativas, para realizar un análisis tanto de los datos como del trato incluyente de la institución.

1. Se solicitó información mediante cuestionarios a la institución educativa.
2. Se tomaron notas de las observaciones de la infraestructura.
3. Se tomaron notas de las actitudes y disponibilidad de información.
4. Se tomaron notas de la capacidad de respuesta de las personas que están en los módulos de información de las instituciones.

Resultados y discusión

Como podemos apreciar en la figura 1 de las 14 instituciones entrevistadas, se encontró que 8 de las instituciones entrevistadas cuentan con al menos 1 alumno con discapacidad, en 6 de ellas no hubo alumnado con discapacidad, en 3 instituciones no cuentan con el dato.

En las instituciones en donde se encuentra alumnado con discapacidad, las instituciones cuentan con la infraestructura y el apoyo requerido básico, menos en el dos que suplen estas deficiencias contando con el personal de apoyo al estudiante capacitado.

Entre las discapacidades con las que las instituciones deben tratar se encuentran principalmente: motriz, visual, cognoscitiva y auditiva.

Que las instituciones públicas que por ley deben tener todas las características de escuelas incluyentes, solo la una cuenta con un departamento específico dedicado a lograrlo y cuenta con un plan estructurado para disminuir las deficiencias que hasta el día de hoy tienen. Las otras tres cumplen con la normativa interna que las rigen en materia de inclusión.

Estudiantes por Discapacidad

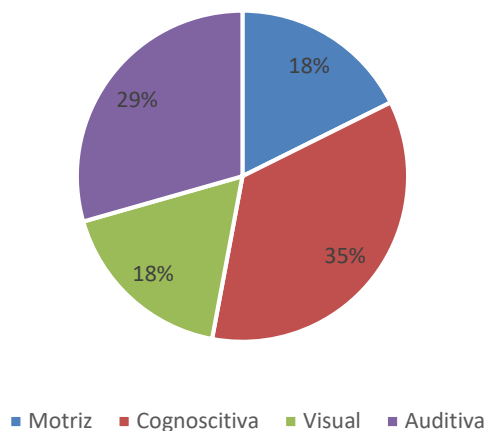


Figura 1. Elaboración propia. Basada en la investigación realizada.

A pesar de que las instituciones cuenten tanto con el personal capacitado, como con las instalaciones adecuadas, únicamente tres escuelas privadas cuentan con un proceso especial y personal de inclusión para sus estudiantes, se preocupan por tener el equipo y material didáctico adecuado para el alumnado con discapacidad, cuentan con un intérprete en la lengua de señas mexicana, y permiten los tutores en el aula. Cabe mencionar que existen instituciones que no cuenta con intérprete de señas ya que sus alumnos son personas sordas hipoacúsicos solo necesitan su aparato auditivo para escuchar.

Ninguna de las instituciones tienen programas educativos especiales ya que su intención es la integración al programa general, por lo que fomentan grupos incluyentes, multiculturales, es por esta razón que cuentan con la política de adaptar el sistema de enseñanza según las necesidades de la discapacidad del estudiante en específico, por lo que un comité o las academias realiza las adecuaciones necesarias para la inclusión de cada alumno en específico de acuerdo a su discapacidad y la carrera a cursar, siendo solo tres instituciones las que han enfrentado de manera personalizada los retos de la inclusión educativa.

Cabe destacar que solo dos instituciones, brindan diplomados de la Lengua de Señas Mexicana dentro de su oferta de educación continua. Dejando de lado la importancia de que ya es reconocida como una lengua más en el país [6].

Y solo hay una institución de nivel superior en tener planes de inclusión integral, por lo que brinda cursos a los docentes, estudiantes, padres de familia y público en general enfocados en la no discriminación y la importancia de la inclusión educativa y laboral.

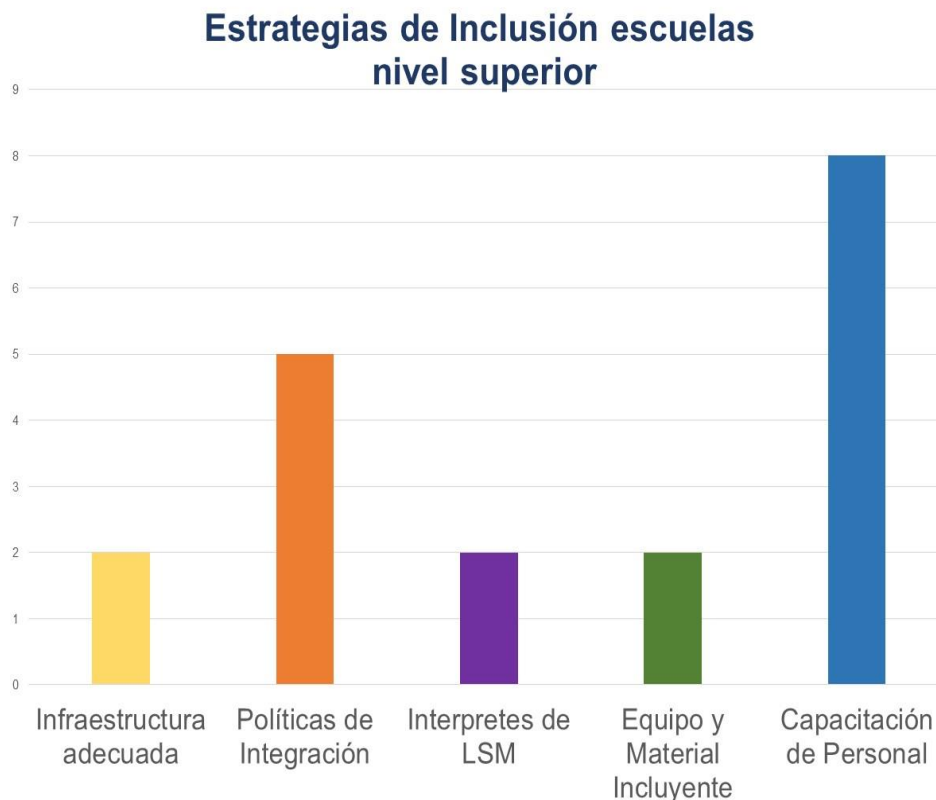


Figura 2. Elaboración propia. Basado en la investigación

Como se enmarca en la figura 2. Solo dos instituciones cuentan con la infraestructura adecuada de acceso y desplazamiento en toda la institución, cabe mencionar que no hay carriles guías para invidentes en ninguna institución, que cinco instituciones cuentan con políticas de integración en documento ya que algunas de esas instituciones no cuentan con estudiantes con alguna discapacidad, que solo dos instituciones cuentan con un intérprete de LSM, que esas dos mismas instituciones son las que cuentan con el equipo y material que requieren, y que ocho de las instituciones realizaron capacitaciones de concientización de la inclusión educativa para su personal, aunque cabe mencionar que en las 14 instituciones el personal que atiende a los estudiantes no conocían las políticas de inclusión de la institución, ni alguno de los datos solicitados por lo que en todas se remitió a una persona específica o departamento alterno.

Todas las instituciones cuentan con rampas de acceso, una con elevadores, y un elevador en construcción de acceso a un solo edificio y una sola carrera por lo que no existe opción de acceso a talleres y aulas en segundos pisos.

El personal de primer contacto no contaba con la información requerida para esta investigación, en cada entrevista fue necesario información de una persona con puesto superior. Ninguna institución cuenta con información de la oferta educativa en braille, ni en lengua de señas, ni un manual protocolo de servicio para cada una de las discapacidades para hacer frente a las preguntas básicas del grado de inclusión educativa de la institución.

Trabajo a futuro

Se establece la necesidad de realizar estrategias de inclusión educativa a nivel profesional, analizando las necesidades de capacitación inclusiva para el personal, docentes y estudiantes, los materiales y equipos necesarios para afrontar el reto de la inclusión educativa integral en la Sociedad Colimense.

Conclusiones

La evidencia que esta investigación nos arroja sugiere que las personas con discapacidad no suelen ir a las universidades a pesar de que esta sí cuenta con la infraestructura básica y opciones de las diversas instituciones para brindar el apoyo básico, aunque no el ideal.

Las instituciones educativas, podrían llegar a centrarse en fortalecer sus planes de estudios, capacitación de personal y difusión de la inclusión, al dar mayor publicidad se buscará llegar al tipo de alumno idóneo para la institución inclúyete, motivándolos a cursar el nivel profesional; de hacerse esto las instituciones aumentarían su población ayudando a las personas con discapacidad que más lo necesitan.

El proceso educativo desde la captación de la persona estudiante con discapacidad, el acompañamiento en el proceso de admisión, el desarrollo de la vida académica hasta el proceso de titulación, requieren una adaptación específica para cada discapacidad, por lo que contar con manuales de procedimientos inclusivos y capacitación al personal de primer contacto es elemental en el inicio del proceso inclusivo en la educación. [7]

El trabajo en conjunto de las asociaciones Colimenses es indispensable en el avance de la inclusión.

Agradecimientos

A las instituciones educativas participantes y muy en especial al CECATI 183 por el apoyo en la vinculación e infraestructura que facilitaron esta investigación, así como al Tecnológico Nacional de México campus Colima por las facilidades otorgadas.

Referencias

- [1] Ley Para La Integración Y Desarrollo Social De Las Personas Con Discapacidad Del Estado De Colima (2005) Decreto 201. Consultado 02 de Julio de 2021. Recuperado de http://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/Programas/Discapacidad/Ley_IDSPD_Col.pdf
- [2] Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad (2022). Consultado 02 de junio de 2022. Recuperado de http://www.cndh.org.mx/sites/default/files/doc/Programas/Discapacidad/Ley_GIPD.pdf
- [3] Pérez-Castro, Judith (2016), La inclusión de las personas con discapacidad en la educación superior en México, Consultado 20 de Julio de 2021, Recuperado de <https://sinectica.iteso.mx/index.php/SINECTICA/article/view/614>.
- [4] Ecos de la Costa. (2017). Colima, pionero en inclusión de personas con discapacidad: Conadis. Obtenido de Ecos de la Costa: <https://www.ecosdelacosta.mx/2017/02/11/colima-pionero-inclusion-personas-discapacidad-conadis/>
- [5] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). La discapacidad en México datos al 2020. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estr_uc/702825197773.pdf
- [6] CONADIS (2014) Lengua de Señas Mexicana, Revisado el 02 de julio de 2021. Recuperado de <https://www.gob.mx/conadis/articulos/lengua-de-senas-mexicana-lsm?idiom=es>
- [7] Macarulla, I & Margarida, S. (2009) Buenas prácticas de escuela inclusiva. 1° Edición. Barcelona. Editorial GRAÓ. PP. 40.

Sistema de Información Automatizado para Auditar Estándares y Certificaciones VTslp

G. C. Rendón Sustaita^{1*}, J. A. Domínguez Lopez², V. Rodríguez Avalos², H. A. Saavedra Hernández¹, S. J. Mendoza Cerda,

¹Departamento de Sistemas y Computación, TNM/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Av. Tecnológico s/n, U.P.A., C.P. 78437, San Luis Potosí, S.L.P., México

²Departamento de Metal-Mecánica, TNM/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, 78437, San Luis Potosí, S.L.P., México

*gloria.rs@slp.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

En estos momentos, los sistemas de información automatizados son de gran importancia para mantener la calidad a través del control de procesos en la industria automotriz, por lo anterior, se desarrolló el sistema de control de procesos VTslp para la empresa automotriz Valeo Térmico ubicada en la Ciudad de San Luis Potosí, México, el cual, realiza diagnósticos que permiten medir los indicadores de eficiencia basados en los esfuerzos globales que contribuyen a la toma de decisiones con respecto a la seguridad en el manejo de la información, para auditar el cumplimiento de estándares y certificaciones para la empresa automotriz. Esta innovación tecnológica surge como una necesidad de la empresa para contar con un sistema automatizado de fácil acceso y uso, con el cual no se contaba, y que brinde evidencia del desempeño de la planta, generando como resultado la obtención de datos que proporciona información en términos de productividad, estándares, certificaciones, actividades cotidianas y programadas para la toma de decisiones.

Palabras clave: Automatización, Control, procesos, empresa automotriz.

Abstract

Currently, automated information systems are of great importance to maintain quality through process control in the automotive industry, therefore, the VTslp process control system was developed for the automotive company Valeo Térmico located in the City of San Luis Potosí, Mexico, which performs diagnoses that allow measuring efficiency indicators based on global efforts that contribute to decision-making regarding security in information management, to audit compliance with standards and certifications for the automotive company. This technological innovation arises as a need for the company to have an automated system that is easy to access and use, which was not previously available, and that provides evidence of the performance of the plant, generating as a result the obtaining of data that provides information in terms of productivity, standards, certifications, daily and scheduled activities for decision making.

Keywords: Automation, Control, processes, automotive company

Introducción

México, para los principales productores de autos en Norteamérica, es un país sumamente importante, el cual está enfocado en la producción y exportación de vehículos [1]. Valeo México, es una de las principales compañías de la Industria Automotriz y se ha convertido en el mayor empleador en diversas ciudades del país, tales como: San Luis Potosí, Querétaro, Ciudad Juárez, Río Bravo y Toluca. La experiencia de Valeo México está enfocada en todos los Grupos de Negocios de Valeo: Sistemas Térmicos (THS), Sistemas de Visibilidad (VIS), Sistemas de Electrificación (PTS), Comodidad y Asistencia para conducir(CDA), así como Centros de Producción y Centros de excelencia en Investigación y Desarrollo [1]. Valeo Térmico México en la Ciudad de San Luis Potosí, ofrece sistemas innovadores y equipo para reducir el consumo de combustible y las emisiones de CO₂, mejora de vehículos de funcionamiento y desarrollo de conducción intuitivo a través de sistemas de automoción, módulos y componentes que garantizan la gestión de la energía

térmica del sistema de propulsión y la comodidad de todos los pasajeros en la cabina, también se desarrollan sistemas para la asistencia a la conducción, a partir de interfaz entre el conductor, el vehículo y su entorno, ayudando a mejorar el confort y la seguridad [2].

Por lo anterior, el aplicar los avances tecnológicos, como lo son utilizar sistemas de información automatizados a través de redes internas, es parte del nuevo paradigma, en el cual el tiempo y la efectividad de evidencias, revela innovación y la obtención de información oportuna y correcta.

Esto permite involucrar el concepto de auditoría de seguridad informática en la aplicación de sistemas de información automatizados, porque se basa en analizar el nivel de seguridad de los sistemas informáticos utilizados por una organización. Contando con herramientas y técnicas, permite averiguar qué problemas y debilidades presentan estos sistemas informáticos, generando informes en los cuales se proponen las medidas necesarias para solucionarlos. La seguridad informática consiste en certificar que los recursos del sistema de información de una organización sean utilizados de la manera que se decidió y que el acceso a la información contenida, así como su modificación, sólo sea permitida a las personas que se encuentren acreditadas y dentro de los límites de autorización [3]. Por lo tanto, la seguridad informática está vinculada a la protección de los sistemas informáticos y de la información contenida en ellos. Las grandes, medianas y pequeñas empresas no han estado ajenas al proceso, la dependencia a la tecnología y el valor de la información se han ido incrementando paulatinamente en las organizaciones. Toda empresa pública o privada que posea sistemas de información medianamente complejos, deben someterlos a un control estricto de evaluación de eficacia y eficiencia, para garantizar que sus sistemas de información funcionen correctamente. La Auditoría informática, como área especializada de la auditoría general, examina y evalúa en forma independiente, el sistema de control interno informático de las organizaciones, con el objeto de emitir una opinión sobre su validez técnica y la confiabilidad de la información generada por el sistema auditado [4].

Para la empresa Valeo Térmico México Planta San Luis Potosí, es de suma importancia que su área de auditoría informática comprenda no sólo la evaluación de los equipos de cómputo, de un sistema o procedimiento específico, sino que además evalúe los sistemas de información en general desde sus entradas, procedimientos, controles, archivos, seguridad y obtención de información. Por lo anterior, la auditoría informática de la empresa contempla el verificar las normas y procedimientos dentro de la misma, determinando la veracidad de la información, verificando el uso adecuado de herramientas y dispositivos, así como solicitar los estándares, normas y procedimientos establecidos en la misma [5].

Por esta razón, los sistemas de información automatizados son de gran importancia para mantener la calidad a través del control de procesos en la industria automotriz. El desarrollo del sistema de control de procesos VTslp para la empresa automotriz Valeo Térmico México Planta San Luis Potosí, realiza diagnósticos que permiten medir los indicadores de eficiencia basados en los esfuerzos globales que son la base para la toma de decisiones de la dirección, con respecto a la seguridad en el manejo de la información permite auditar el cumplimiento de estándares y certificaciones para la empresa. Esta innovación tecnológica surge como una necesidad de la empresa para contar con un sistema automatizado de fácil acceso y uso, con el cual no se contaba, y que brinde evidencia del desempeño de la planta, generando como resultado la obtención de datos que proporcione información en términos de productividad, estándares, certificaciones, actividades cotidianas y programadas para la toma de decisiones.

Metodología

El método utilizado para proponer el desarrollo del sistema de información para esta investigación aplicada, es la basada en las nuevas tecnologías de la información, utilizando las herramientas para realizar nuevas actividades basadas en los diferentes niveles de seguridad. El desarrollo del algoritmo, motivo de esta investigación, se presenta en los siguientes apartados, generando un trabajo tecnológico aplicado con base en plataformas programables.

Para el proyecto se determinó desarrollar un sistema de información automatizado llamado Valeo Térmico San Luis Potosí (VTslp), considerando el enfoque híbrido que combina el desarrollo nativo con tecnología Web. Cabe mencionar que el sistema solo será utilizado dentro de la red interna y con seguridad de Valeo Térmico México Planta San Luis Potosí.

Diseño del Sistema de información automatizado VTslp

La tecnología informática (hardware, software, redes, bases de datos, etc.) es una herramienta estratégica que brinda rentabilidad y ventajas competitivas a los negocios frente a otros negocios similares en el mercado, pero puede originar costos y desventajas si no es bien administrada por el personal encargado. La solución clara es entonces realizar evaluaciones oportunas y completas de la función informática, a cargo de personal calificado, consultores externos, auditores en informática o evaluaciones periódicas realizadas por el mismo personal de informática.

Los beneficios de los sistemas de información automatizados enfocados a la auditoría informática se basan en mejorar la imagen pública, dar confianza a los usuarios sobre la seguridad y control de los servicios de TI, optimizar las relaciones internas y del clima de trabajo, disminuir los costos de la mala calidad (reproceso, rechazos, reclamos, entre otros), generar un balance de los riesgos, así como realizar un control de la inversión en un entorno de TI, a menudo impredecible.

Para VTslp se determinó el desarrollo de una base de datos manipulada por una aplicación web, considerando un enfoque híbrido que combina el desarrollo nativo con tecnología Web. El cual permite que los sistemas con tecnologías Web puedan trabajar para múltiples plataformas y mantienen el acceso directo a APIs nativas. En este caso, el manejo del sistema se realiza únicamente dentro de la red interna de Valeo Térmico México Planta San Luis Potosí.

VTslp, tiene una arquitectura de software denominada Modelo Vista Controlador (MVC), la cual es presentada en la Figura 1.

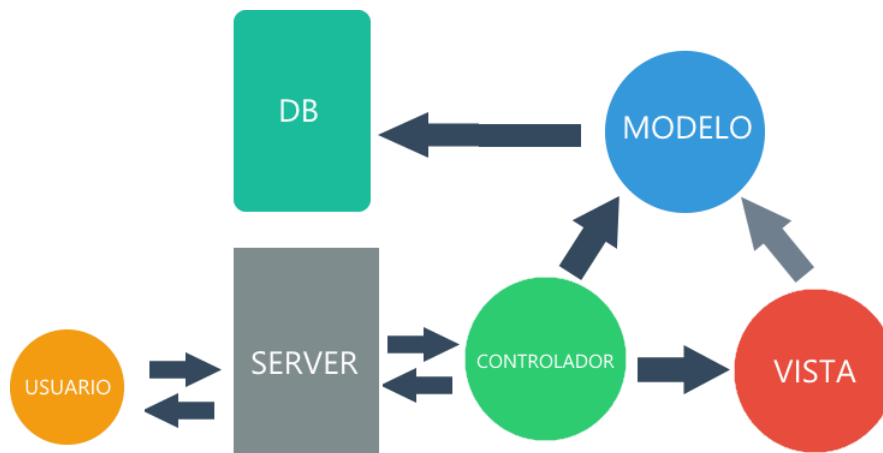


Figura 1. Diagrama del diseño de VTslp [6].

Sommerville [7] establece que el patrón de arquitectónico MVC se basa en varios componentes lógicos, los cuales se relacionan entre sí. El primer componente es el *Modelo*, en donde se encuentran los datos y operaciones del sistema, el segundo es la *Vista* en donde se presentan los datos al usuario y el último es el *Controlador* el cual establece la manera de interactuar del usuario con el sistema.

Herramientas a utilizar

El desarrollo de VTslp se basó en Progressive Web Apps (PWA) que permite trabajar tanto en la web tradicional como en aplicaciones nativas para teléfonos móviles y tabletas.

Desarrollo

Ribas [8], establece que el proceso de arranque de una PWA es la parte más importante, porque permite que el manifiesto de la aplicación sea en formato JSON. El manifiesto permite la visualización actualizada de la aplicación en lugares en donde generalmente los usuarios tienen las aplicaciones nativas. El *Service Workers*, se basa en *scripts* que permiten trabajar en canales *offline*, al bajar los elementos base para el funcionamiento del sistema, así como presentar las notificaciones *push*. También optimiza la retención de los usuarios. *Ionic* es un framework propiedad de Drifty. *Ionic* permite crear aplicaciones híbridas, estas son aplicaciones webs que permiten utilizarlas en teléfonos. Estas aplicaciones son una combinación de CSS, HTML y JavaScript, y se comportan como los controles nativos más usados. Los *servicios Web* permiten considerarlos como un conjunto de aplicaciones o de tecnologías con capacidad para interoperar en la Web [8]. Los servicios web intercambian datos entre sí, para ofrecer los servicios. La mayoría de los proveedores ofrecen servicios remotos y los usuarios accesan a estos servicios a través de llamarlos por medio de la Web. Los *servicios web Rest*, son modelos con un diseño basado en restricciones arquitectónicas aplicadas a los componentes, conectores y datos, de un sistema hipermedia distribuido. *Rest* se centra en las funciones, restricciones sobre su interacción con otros componentes y, la interpretación de los datos.

LoopBack es un ambiente de trabajo de *Node.js* extensible y de código abierto basado en *Express* en el cual se pueden crear rápidamente API's y microservicios compuestos desde el *backend*, los cuales son sistemas con bases de datos y servicios SOAP [9]. La Figura 2, muestra el *LoopBack* a partir de usarse como puente de composición, entre peticiones entrantes e integraciones salientes.

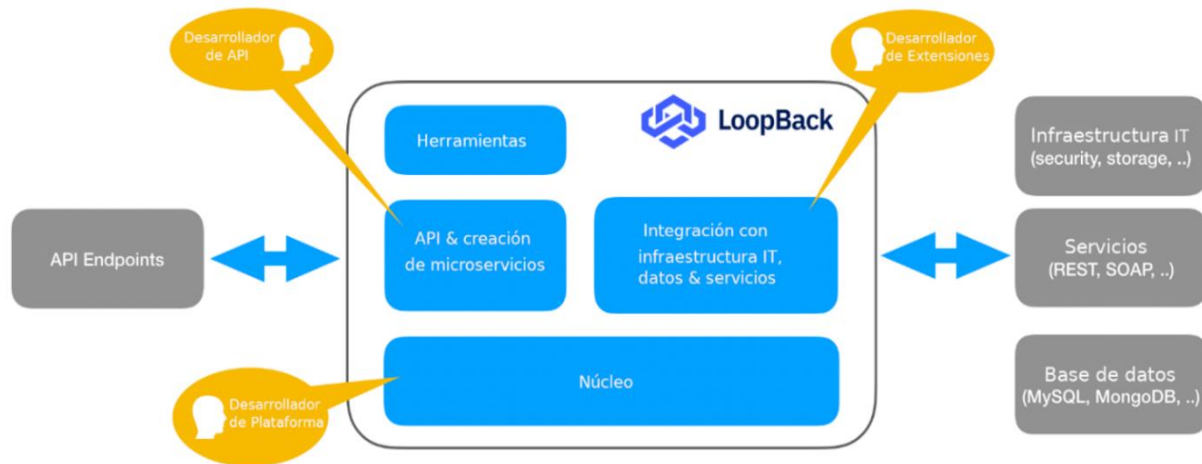


Figura 2. Diagrama de LoopBack [6].

Modelado

Se pensó en el modelo de requisitos, el cual delimita el sistema y captura la funcionalidad que ofrece para el usuario [10]. El modelo de requisitos de la metodología Objectory, el cual es el modelo de casos de uso. Se utilizará el modelo de requerimientos para la parte de la ingeniería de requisitos.

Para el modelado se utilizaron las herramientas que apoyan a la ingeniería de requerimientos, las cuales son:

- Entrevista: Se entrevistó al gerente de planta.
- Diagramas de Datos: Para visualizar como trabaja el sistema actual.
- Diccionario de datos: Para representar cada entidad y atributo.

Dentro de Valeo México Planta San Luis Potosí, se identificó la necesidad de un sistema de información que permita acceder a los documentos solicitados por los diferentes departamentos de producción y recursos humanos con los que cuenta la planta. El problema que se identificó, es que el sistema con el que se contaba no permitía el acceso a los documentos solicitados por falta de actualización o no contar con las herramientas necesarias para realizar las especificaciones requeridas para la búsqueda. También se identificó la necesidad de una auditoría de seguridad del sitio, basándose en una plataforma solo para personal del área de informática, el cual es el único con acceso para modificar y actualizar la solicitud del tema de cada nivel. La planta cuenta con 3 niveles, cada nivel tiene 9 temas, dentro de los temas hay artículos y actividades a realizar solicitando información a recursos humanos, personal del departamento y gerente del área. Dependiendo el nivel es la complejidad del tema a realizar, entre más se avanza es más complejo la actividad.

Recursos Humanos.

También se debe anexar información que ofrezca a recursos humanos, la firma de documentos para nuevo ingreso de personal. Este documento es para cualquier persona llamada 'usuario' de NTIC (Nuevas Tecnologías de Información y Comunicación), que no incluye solo a informática (computadoras, servidores, software, redes) si no también teléfonos, las tarjetas de identificación personal, etc. Todas las personas que trabajan en Valeo México Planta San Luis Potosí (personal de confianza, estudiantes que llevan a cabo sus prácticas, subcontratistas, etc.), utilizan las NTIC. Las NTIC solo deben utilizarse en interés de la planta y de las personas que en ella trabajan. Está terminantemente prohibido utilizar las NTIC ilegales o que atentan contra el respeto de las personas, la imagen de la empresa, los recursos informáticos y los datos de la entidad. Valeo cuenta con los medios para controlar el uso personal de las NTIC (correos recibidos y enviados, llamadas de teléfonos, sitios web visitados, etc.) y ejerce este control según un procedimiento pre-definido cada vez que dispone de elementos que indiquen un posible mal uso de las NTIC. El usuario es responsable de las NTIC que Valeo México Planta San Luis Potosí pone a su disposición; cualquier mal uso comprobado será sancionado y el usuario puede incurrir en responsabilidad civil y/o penal. Recursos humanos tiene la responsabilidad de formar el perfil de los nuevos usuarios indicando el área y puesto y el tiempo establecido que estará en Valeo México Planta San Luis Potosí temporal y/o indeterminado, recursos humanos se encarga que al departamento de Informática llegue la solicitud de la nueva cuenta para el usuario.

Departamento de Informática.

En el departamento de informática se recolecto información sobre hardware y software para la verificación de estándares que se deben de cumplir dentro de la planta. Se actualizaron los mensajes para acceso de internet en las salas de juntas para personal y/o visitas, en el mensaje se puede observar la información del departamento de informática para acceso a la red. También se solicitó información para el cumplimiento de cada tema perteneciente a cada nivel de VTSLP, estableciendo cada estándar y verificando la certificación requerida y cumplimiento total para la seguridad de la planta. También ofrece calidad y seguridad informática para usuarios y equipos, actualizando constantemente las certificaciones y estándares necesarios para un buen funcionamiento. Los usuarios están divididos por puestos y áreas, teniendo diferentes permisos de acceso para no ingresar a otros departamentos, asegurando así, que la información no salga indebidamente de la planta. Tienen acceso a los equipos mediante una tarjeta de seguridad guardando todas sus contraseñas, accesos e información para no tener el problema de conectarse a otros equipos que no les corresponden. Dentro de Valeo las laptops deben estar siempre con un candado de seguridad para evitar pérdidas. El equipo de laptops, teléfonos celulares y computadoras de escritorio se deben de preparar con las medidas de seguridad establecidas. En las oficinas centrales que existen en México, se encargan del cumplimiento de estándares y certificaciones necesarias para el buen funcionamiento de las plantas. Para el desarrollo de VTslp se solicitó el envío de las certificaciones que pertenecen a la planta de San Luis Potosí, verificando el cumplimiento total conforme a la certificación. En el caso de no cumplir, el departamento de Informática se encargaría del cumplimiento de acuerdo a lo solicitado.

Resultados y discusión

El sistema de información desarrollado permite establecer un plan de trabajo para evaluar los resultados que se vayan obteniendo en cada área de producción, en la Figura 3 se muestra la ventana de inicio y se estructura su funcionamiento a partir de una cuadrícula, la cual se muestra en la Figura 4.

La cuadrícula se conforma de la siguiente manera:

- En la parte superior se establecen los niveles de respuesta, de acuerdo a los rangos de inicio, medio, estándar, de mejora y excelente.
- En la parte izquierda se cuenta con la herramienta desarrollada en el sistema VTslp en donde se implementa la herramienta de acuerdo al área de la planta que la solicite.
- También se establece el usuario, dueño del servicio, la herramienta, su desplegado y ruta.
- Los niveles, los cuales pueden ser varios aceptados al mismo tiempo, indican la seguridad alcanzada.
- El artículo pertenece a un tema en específico.

En la Figura 5, se muestran los tres tipos de niveles de seguridad, los cuales se explican a continuación:

- Nivel 1: Mínimo de protecciones de seguridad están en su lugar, se evitan los riesgos importantes para el Grupo.
- Nivel 2: La seguridad está garantizada en un contexto favorable. Los datos sensibles favorables de una mayor protección.
- Nivel 3: Seguridad garantizada en un contexto más difícil (por ejemplo, los períodos de vacaciones, la entrada en funcionamiento, reorganización...)

VTslp muestra el control y la actualización correspondiente a cada tema del nivel y se puede observar la información de la última actualización del concepto.

Los temas están establecidos para:

- Usuarios.
- Dispositivos de usuario.
- Soluciones de oficina.
- Aplicaciones.
- Infraestructura de TI
- IS Administradores.

Los artículos dentro de los temas de cada nivel son confidenciales, asegurando la seguridad de la empresa a no exponer información de suma importancia a la vista de personal ajeno a Valeo Térmico México Planta San Luis Potosí.

Funcionamiento de VTslp

El objetivo principal de VTslp es guardar toda la información necesaria que se especifica en cada tema de los 3 niveles de seguridad, anexando fotos, link y comentarios. Para asegurar la información y seguridad de Valeo Térmico México Planta San Luis Potosí en el área de la informática.

VTslp es una plataforma de seguridad, para auditar la planta de Valeo en el cumplimiento de estándares y certificaciones, de esta manera se asegura la actualización de nuevos estándares y certificaciones en el tema del aseguramiento la información.

Las características de VTslp son:

- Definir, crear e implementar planes de trabajo a varias entidades de Valeo.
- Solicitar autoevaluaciones (cumplimiento / no conforme).
- Definir el plan de acción si no se cumple.

- Consolidar los resultados, controlar el progreso.
- Valor añadido.
- Disponible para cualquier red / organización a nivel corporativo o nivel de sitio.
- Fácil de usar, fácil de administrar.
- Diseño moderno.
- Implementar a través de un navegador estándar permitido en la red interna de la planta de Valeo Térmico México Planta San Luis Potosí.

Observando la Figura 4 se puede establecer que el diseño y desarrollo del sistema de información VTslp se basó en obtener una aplicación informática para uso exclusivo en la red interna de Valeo México Planta San Luis Potosí, usando el patrón arquitectónico del Modelo Vista Controlador, el cual separa la interfaz de la manipulación de los datos a partir de la ingeniería de software [11]. El sistema de información se basa en componentes lógicos relacionados entre sí.

Los resultados obtenidos al utilizar VTslp, proporcionan información valiosa a favor de la toma de decisiones en Valeo México Planta San Luis Potosí.

Estos resultados dieron frutos mayores, al tener esta innovación, permitió la posibilidad de extenderla a diversas plantas de Valeo.

Los directivos, decidieron que este sistema fuera utilizado en las otras plantas ubicadas en los diferentes estados en México, así como en las plantas establecidas en otros países.

Este logro es importante tanto para la alumna de Ingeniería Informática Sandra Jaqueline Mendoza Cerda que desarrollo este proyecto, así como para los docentes asesores del mismo.

El resultado del sistema de información automatizado VTslp es el siguiente:

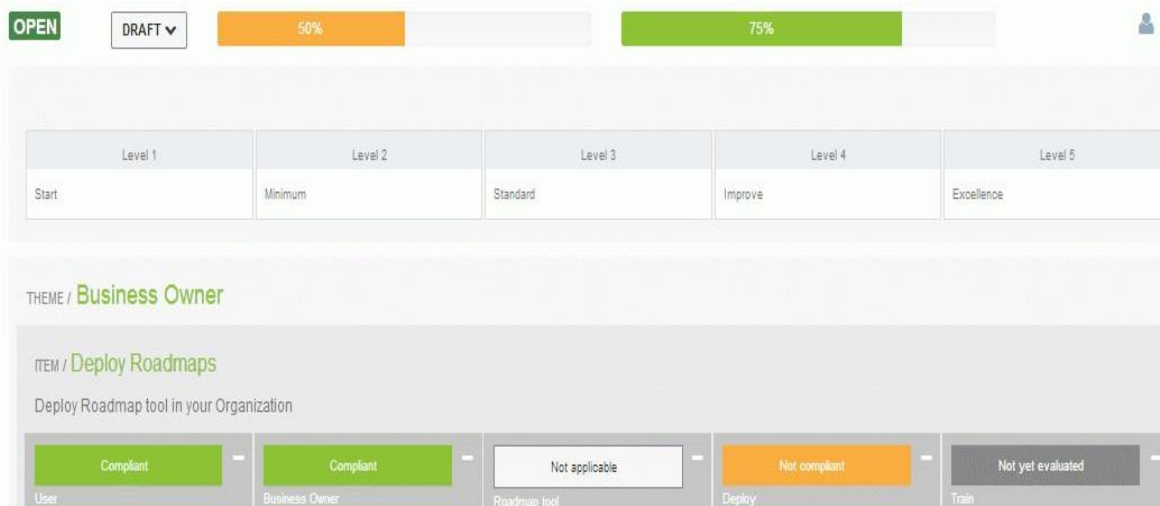


Figura 3. Ventana de inicio de VTslp.

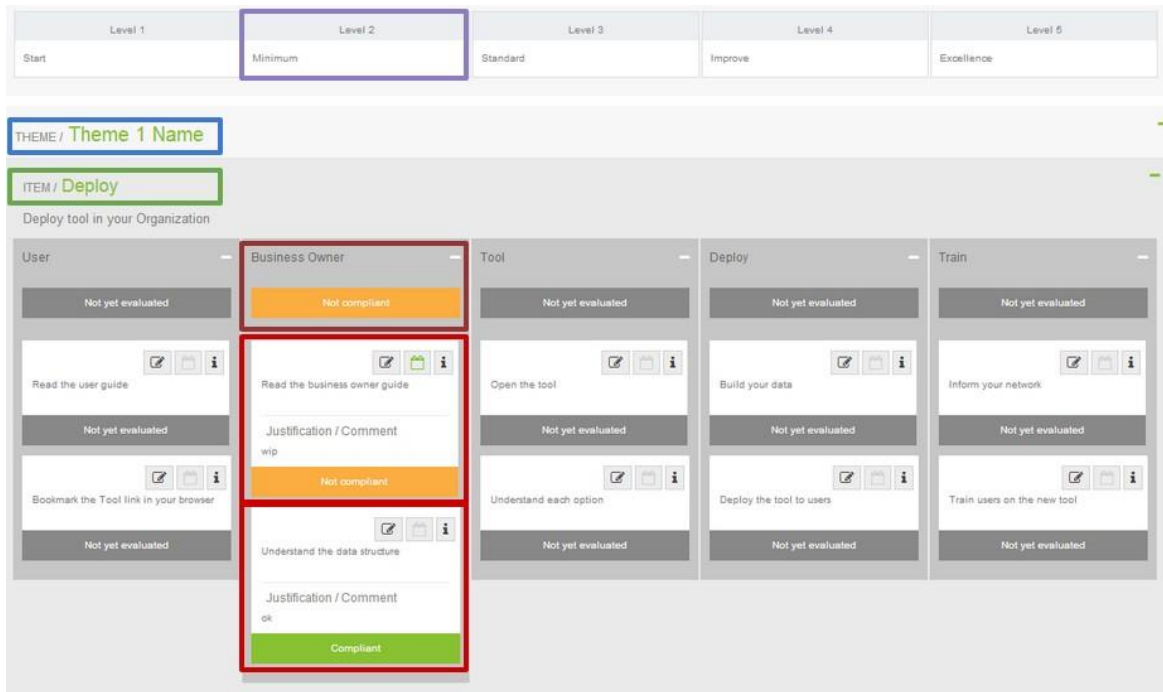


Figura 4. Cuadrícula del Sistema de Información VTS.



Figura 5. Niveles de seguridad del Sistema de Información VTS.

Conclusiones

El alcance de esta innovación radica en la posibilidad de extenderla a diversas áreas productivas de Valeo. Los resultados obtenidos al aplicar VTslp en la planta, arrojó un control real con respecto a los niveles de seguridad utilizados en los procesos. La auditoría informática realizada, obtuvo información de documentos completos y actualizados en el momento de su requerimiento, permitiendo un juicio global objetivo, amparado por las evidencias comprobatorias. Se obtuvo buena respuesta por parte del departamento de informática como de los directivos de la planta con los resultados obtenidos por VTslp. Lo anterior fue gracias a la actitud positiva para enfrentar cambios en los sistemas al aplicar la tecnología computacional, la cual es una herramienta elemental para contener y manipular la información necesaria para auditar y tomar decisiones. El entrenamiento del personal para este nuevo enfrentamiento fué una labor de suma prioridad. Se procedió a realizar un análisis FODA para dar una conclusión más detallada con respecto al desarrollo y aplicación de VTslp:

Fortalezas

Disponibilidad de recursos económicos.
 Personal directivo y técnico con amplia experiencia.

Capacidad de Convocatoria.
Existen programas de capacitación y actualización al personal.
Personal técnico Calificado.

Oportunidades

Búsqueda de reducción de costos, aprovechando la aparición de nuevas tecnologías.
Buen servicio y trato.
Tendencias Tecnológicas que permiten un amplio campo de acción.
Disposición y voluntad de los nuevos directivos para el cambio.

Debilidades

Falta de planes.
Inestabilidad técnica.
La oficina del área de cómputo e informática muy reducida.

Amenazas

Intento de robo de información, tanto dentro como fuera de la planta.

Recomendaciones

Considerando el acelerado desarrollo tecnológico que se está experimentando en las organizaciones, así como también el alto grado de riesgo que esto implica, es conveniente que las unidades de auditoría interna cuenten con el personal suficiente para la cobertura total de las áreas a evaluar. La magnitud de operaciones que se realizan en las organizaciones, hace necesario que las unidades de auditoría interna cuenten con un número adecuado de personas, lo que traería como consecuencia, el desarrollo de auditorías tanto preventivas como correctivas, permitiendo detectar oportunamente las debilidades en el control interno.

Referencias

- [1] Valeo in USA. Disponible: <http://www.valeo.us/valeo-in-north-america/valeo-in-mexico/valeo-in-mexico-sites-addresses.html>.
- [2] -in-mexico-sites-addresses.html.
- [3] ValeoService. Disponible: <http://www.valeoservice.com/index.php?lang=es>.
- [4] Velthuis, P, Mario G., Peso Navarro, E. "Auditoría Informática. Un enfoque práctico". (2ª edición ampliada y revisada).
- [5] Echenique J.A. "Auditoría Informática". Mc-Graw Hill.
- [6] G.C. Rendón, P. Rivera, R.E. Martínez, J.M. Huerta, J.M. Rodríguez, "Medición algorítmica de indicadores de economía circular en función del desarrollo sostenible", Journal CIM, vol. 9, no. 1, pp. 39-46, 2021.
- [7] Sommerville, I., "Ingeniería de Software (Novena ed.)", Pearson Educación, México, 2011.
- [8] Ribas, Ester (2018). "¿Qué son las Progressive Web Apps? ¿por qué son tan importantes?".
- [9] Disponible: <https://www.iebschool.com/blog/progressive-web-apps-analitica-usabilidad/>.
- [10] LoopBach 4. Disponible: <https://loopback.io/doc/es/lb4/>.
- [11] W3C. (s.f.). "Servicios Web2. Disponible: <http://www.w3c.es/Divulgacion/GuiasBreves/ServiciosWeb>.
- [12] Weitzenfeld, A., "Ingeniería de Software Orientada a Objetos con UML, Java eInternet". International Thomson Editores, México, 2005.
- [13] Hernández, R., (2014). "Metodología de la Investigación", 6ta edición. México: McGrawHill.

Percepción de los operadores turísticos acerca de los atractivos del departamento La Guajira, Colombia

Autor Ecardeno, Ncardeno, Dbarreto, Jjcardeno, Wramirez.
Universidad de La Guajira, ecardeno@uniquajira.edu.co, ncardeno@uniquajira.edu.co,
dbarreto@uniquajira.edu.co, jjcardenop@uniquajira.edu.co, wramirez@uniquajira.edu.co

Área de participación: Área Ingeniería Administrativa

Resumen

La investigación describió la percepción que tienen los operadores turísticos de los atractivos del Departamento de La Guajira, proponiendo lineamientos que sirvan para posicionar la oferta de los destinos de turísticos. Metodológicamente tiene un enfoque cuantitativo, descriptiva transversal, diseño de campo, no experimental; la población conformada por (26), agencias de viajes, (172) restaurantes y (58), hoteles en: Riohacha, y Palomino, se aplicó un cuestionario de (38) ítems, con afirmaciones de selección múltiple escala Likert, con cuatro opciones de respuestas. Para la validez se utilizó el juicio de experto, la confiabilidad se empleó el Alfa de Cronbach arrojando un resultado de 0,859. En conclusión, conforme a las medidas de distribución de frecuencia, los encuestados expresaron que los turistas consideran identifican los atractivos naturales, y culturales, no se tienen establecidos programas de capacitación al turista para la conservación del medio ambiente, el cual es importante en el desarrollo sostenible.

Palabras clave: Percepción, Operadores turísticos, atractivos

Abstract

The research described the perception that tour operators have of the attractions of the Department of La Guajira, proposing guidelines that serve to position the offer of tourist destinations. Methodologically, it has a quantitative approach, cross-sectional descriptive, field design, not experimental; the population made up of (26), travel agencies, (172) restaurants and (58), hotels in: Riohacha, and Palomino, a questionnaire of (38) items was applied, with Likert scale multiple choice statements, with four options of responses. Expert judgment was used for validity, Cronbach's Alpha was used for reliability, yielding a result of 0.859. In conclusion, according to the frequency distribution measures, the respondents expressed that the tourists consider that they identify the natural and cultural attractions, there are no established tourist training programs for the conservation of the environment, which is important in the development sustainable

Key words: Perception, Operators tourist, attractions

Introducción

La Organización Mundial de Turismo, OMT (2017), como principal organización internacional en este ámbito y apéndice del Organismo de las Naciones Unidas, está encargado de la promoción de un turismo responsable, sostenible con accesibilidad para todos; defiende un turismo que contribuya al crecimiento económico, al desarrollo incluyente, a la sostenibilidad ambiental, ofreciendo liderazgo y apoyo al sector para expandir por el mundo sus políticas turísticas.

En este orden de ideas, La Guajira, posee una riqueza natural, étnica, y cultural, que le permite ofrecer un ecoturismo sostenible, el cual viene arriesgando la preservación del capital natural y cultural, con el transcurrir del tiempo se puede agotar los recursos locales, generando externalidades dañinas que reduce los atributos del ecosistema, asimismo contribuye con la rápida transformación de la identidad territorial. (Cámara de Comercio de La Guajira 2018), cabe resaltar que las autoridades gubernamentales no aplican políticas y acciones de protección al medio ambiente, la corporación autónoma regional de La Guajira realiza algunas actividades de protección a los recursos naturales, renovables, a partir de estos motivos surge la necesidad de conocer desde los operadores turísticos, sus percepciones para poder proponer estrategias que permitan hacer destinos turísticos sostenibles en el tiempo.

Ilustración 1. Mapa del Departamento de La Guajira.



Fuente: guía turística La Guajira Colombia

Según, Blanco Romero & Villarino (2019), un atractivo turístico es resiliente solo si forma parte de un espacio geográfico homogéneo, el cual despierte interés para visitar, además, tenga una guía de sus atractivos turísticos, lo anterior genera una imagen de marca integradora, convirtiéndose un referente de planificación estratégica que favorezca la promoción e impulse el destino desde el sector público y privado, así mismo, se deben integrar la mayoría de los actores, como: organizaciones empresariales, instituciones públicas, gobierno local, regional.

Por su parte Acerenza, citado por Diego Navarro (2022), define que los atractivos turísticos son el componente más importante del producto turístico, por lo tanto, es un determinante en la selección, por parte del turista, convirtiéndose en el punto del destino de su viaje, generando una corriente turística hacia su localización. De igual manera considera el principal motivo para que el turista lo visite y regrese, alcanzando un posicionamiento en la mente del cliente.

El presente documento tiene en cuenta los constructos teóricos que fundamentan la investigación, posteriormente describe los aspectos metodológicos, para responder a los interrogantes, analizar los resultados, y conclusión del mismo.

Metodología

La investigación se enmarca dentro del paradigma cuantitativo (o positivista). Para Hernández, Fernández & Batista (2017), el enfoque cuantitativo utiliza la recolección aunado al análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, además, confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente el uso de estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población.

Tipo de investigación

Es de tipo descriptivo, transversal teniendo en cuenta que describe la percepción que tienen los operadores de los atractivos turísticos, y los datos se recolecta, sobre la unidad de análisis, en un solo momento en el tiempo, con el propósito es descubrir información de los indicadores y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado Bonilla (2018).

Población

Se encuentra conformada por los hoteles, restaurantes y agencias de viajes en los municipios de Riohacha y Palomino, los cuales conocen los problemas del sector turístico y sus bondades.

Tabla 1. Distribución poblacional

Municipios	Hoteles	Restaurantes	Agencias de viajes	TOTAL
Riohacha	279	839	127	1.245
Palomino	5	9	1	15
Total	284	848	128	1.260

Fuente: elaboración propia (2021)

Muestra

Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 NPQ}{NE^2 + Z^2 PQ}$$

Donde:

n: es el tamaño de la muestra a calcular

Z: atendiendo el margen de confiabilidad o desviación estándar en la distribución normal que produce el nivel de confianza, este es igual a 95%.

E: es el margen de error, en el caso de la presente investigación este es igual a 5%.

P y Q: son las probabilidades de éxito y fracaso, respectivamente

Sustituyendo en la fórmula se tiene:

$$n = \frac{1,96^2(1.260)(0,5)(0,5)}{(1.260)0,05^2 + 1,96^2(0,5)(0,5)} = 255,$$

Tabla 2. Distribución poblacional

Población muestral	Hoteles	Restaurantes	Agencias de viajes	TOTAL
Riohacha	57	170	26	252
Palomino	1	2	0	3
Total	58	172	26	255

Fuente: elaboración propia (2021)

Resultados y discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación percepción de los operadores turísticos del departamento de La Guajira – Colombia.

Después de la aplicación de los instrumentos de recolección de datos, los cuales sirvieron de insumo para la tabulación por dimensiones de los indicadores y de contera medir la variable de estudio. En consideración a que los resultados constituyen una fase importante en el desarrollo de la investigación, toda vez que ellos reflejan el proceso de integración de los componentes teóricos y metodológicos, por tanto, los investigadores hacen uso para responder a los objetivos específicos que orientan el desarrollo del estudio, y a su vez, facilitan la consecución del objetivo general.

Tabla 3. Atractivos turísticos en Riohacha

DIMENSION	Indicadores	Items	Alternativas de respuesta								PROMEDIO		
			S	%	F	%	RV	%	N	%	Pro item	Indi	Dime
Percepción de los atractivos turísticos	Atractivos Naturales	9	25	64.1	10	25.6	2	5.1	2	5.1	3.54	3.30	3.06
		10	20	51.3	9	23.1	4	10.3	6	15.4	3.26		
		11	16	41	11	28.2	7	17.9	5	12.8	3.10		
	Atractivos Culturales	12	14	35.9	14	35.9	5	12.8	6	15.4	3.08	2.91	
		13	7	17.9	13	33.3	13	33.3	6	15.4	2.69		
		14	13	33.3	11	28.2	12	30.8	3	7.7	2.95		
	Superestructura socio técnico – económico	15	18	46.2	6	15.4	8	20.5	7	17.9	3.08	2.98	
		16	11	28.2	15	38.5	9	23.1	4	10.3	2.95		
		17	13	33.3	9	23.1	17	43.6	0	0	2.90		

Fuente: elaboración propia (2021)

Ratificando la frecuencia en las respuestas del indicador atractivos naturales, ítem 9 al 11, se les consulto a los gerentes de los operadores turísticos del Distrito Turístico y Cultural de Riohacha, si se tienen están identificados

los atractivos turísticos naturales con que cuenta el municipio, el 64.1% señala que siempre, sigue un 25.6% apunta frecuentemente, un 5.1% afirma rara vez, por último, un 5.1% estima nunca. Ubicándose en la categoría alta, con un promedio de 3.54.

Así mismo, expresaron que siempre existen documentos que contienen los sitios naturales, los cuales muestran los atractivos necesarios para que sean seleccionados en la temporada turística, un 51.3%, afirmo estar de acuerdo siempre, seguido de un 23.1% expresa frecuentemente, más un 15.4% señala nunca, por ultimo un 10.3% declara rara vez. Ubicándose en la categoría moderada, con un promedio de 3.26.

En cuanto a si se emprenden acciones de restauración de los atractivos turísticos naturales atendiendo las políticas públicas, el 41% declara estar de acuerdo y afirman siempre, seguido del 28.2% declara frecuentemente, más el 17.9% expresa rara vez, siendo un 12.8% que manifiesta nunca. Ubicado en la categoría moderada, con un valor promedio de 3.10.

Todo lo anterior, permite inferir que en el Distrito Turístico y Cultural de Riohacha, tiene identificados los atractivos naturales, sin embargo, los turistas se quedan muy poco en la ciudad, teniendo en cuenta que estos se encuentran en los corregimientos o zonas rurales, convirtiéndose solo en un sitio de paso, sin que se genere impacto en esta actividad económica. cabe destacar, que en los últimos años los gobernantes locales están tratando de restaurar los sitios naturales, sin embargo, podrían reflexionar sobre las riquezas que tiene esta región, aprovechando las tendencias actuales, y generando competitividad en las empresas, ya que existe un potencial como el agroturismo en el Corredor Agroindustrial (Corregimientos de Tigreras, Choles y Matitas).

Ilustración 2. Boca de camarones



Fuente: Cardeño (2022)

Ilustración 3. Camarones



Fuente: Cardeño (2022)

Así mismo, el eco turismo en zonas como el Santuario de Flora y Fauna los Flamencos (Corregimiento de Camarones), Pozo García (Corregimiento de Tomar razón), el Delta del Río Ranchería (Casco Urbano. Comuna # 9), o aprovechar el turismo de playa que comprende el corredor costero desde el margen oriental de la desembocadura del Río Enea hasta el margen occidental de la desembocadura del Río Ranchería con varias playas vírgenes y seis (6) playas urbanas como: (Playa Marbella, Playa del Guapo, Playa del Muelle, Playa Gimaura "La Boca", Playa Valle de los Cangrejos y Playa La Raya), cabe destacar, la belleza de estas playas, todas son de arena blanca surcadas por palmeras de coco y su Muelle Turístico (desde 1936). Así mismo, cuenta con: el Malecón o Paseo de la Marina, que durante las noches está iluminado con luces multicolor, las cuales dan una atmósfera de perpetuo festival, el Centro Histórico, la Laguna Salada, la Tumba de Francisco El Hombre (Corregimiento de Villa Martín o Machobayo) y el Santuario de Fauna y Flora Los Flamencos, en el Corregimiento de Camarones.

Ilustración 4. Santuario de fauna y flora flamencos

Ilustración 5. Avenida primera Riohacha



Fuente: guía turística La Guajira Colombia



Fuente: guía turística La Guajira Colombia

Por otra parte, el indicador atractivo culturales, abordados del ítem 12, al 14, los encuestados respondieron en un 35.9% expone que siempre cuenta con un inventario sobre los atractivos turísticos culturales de interés para viajar a cada lugar, para el 35.9% apunta frecuentemente, sin embargo, un 15.4% manifiesta nunca y por ultimo un 12.8% señala rara vez. Ubicándose en la categoría moderada, con un valor promedio de 3.08.

De igual manera, los encuestados estimaron en un 33.3% que frecuentemente se aplican encuesta de satisfacción a los turistas después de la visita a los sitios culturales y atractivos a fin de mejorar su oferta turística, también un 33.3% declara rara vez, seguido 17.9% afirma siempre, para el 15.4% nunca, ubicándose en la categoría moderada, con un valor promedio de 2.69.

En cuanto a sí se aplican procedimientos, para la evaluación de atractivos turísticos culturales de acuerdo a la metodología del Ministerio de Turismo del país, un 33.3% considera que siempre, no obstante, un 30.8% apunta rara vez, más el 28.2% exhibe frecuentemente, solo un 7.7% expresa nunca. Ubicándose en la categoría moderada, con un promedio de 2.95.

Es preciso aclarar, que la población del Distrito de Riohacha descende de la mezcla de muchas culturas entre estas: los indígenas wayuu, españoles, africanos que llegaron de esclavos, antillanos, árabes, por lo tanto, se tiene mucho para compartir con los turistas que visitan y desean conocer de nuestras culturas, en la actualidad la ciudad no cuenta con un museo que rinda homenaje a nuestros ancestros, cabe resaltar, que cada cultura aporta a la nueva generación, destacándose eventos culturales como el carnaval uno de los más antiguo del país, se celebra el pilón Riohachero, haciendo reverencia a las mujeres que pilaban el maíz, convirtiéndose en unos de los bailes tradicionales; y los embarradores eran esclavos que se colocaban una capucha y bailaban al ritmo del tambor, trataban de ridiculizar a los españoles, en la actualidad se colocan un traje entero, con una capucha en la cabeza, para que los amigos no le conozcan, se van a la laguna y llenan de lodo, luego, recorren la ciudad al ritmo de tambores, la población les espera en determinados sitios, como discotecas, casetas, la avenida.

En este orden de ideas, al Distrito de Riohacha, se ha convertido en un destino turístico por sus festivales entre los que se destacan el festival del dividivi, árbol típico de nuestra región, el festival internacional Francisco el hombre de música vallenata, otros son: de teatro, cuentería, danza, poesía y boleros.

Ilustración 6. Indigenas wayuu calle priemera Riohacha



Fuente: Mapio.net

Así mismo, el indicador superestructura socio técnico – económica, el cual se mide a partir de los ítems 15, hasta el 17, los encuestados respondieron en un 46.2% siempre se evalúa la potencialidad económica del uso de un destino atractivo para el diagnóstico turístico del municipio, continua un 20.5% exponiendo rara vez, luego un 17.9% estima nunca, por ultimo 15.4% manifiesta frecuentemente. Ubicándose en la categoría moderada, con un promedio de 3.08.

En lo que respecta a sí se desarrollan proyectos turísticos, considerando los beneficios económicos de la región, un 38.5% de los encuestados declaran frecuentemente, así mismo, un 28.2% apuntan siempre, por otro lado, un 23.1% revela rara vez, más el 10.3% dice nunca. Ubicándose en la categoría moderada, con un promedio de 2.95.

A saber, un 43.6% expresaron que rara vez los proyectos turísticos integran varios sectores de la población incrementando la participación comunitaria, por otro lado, un 33.3% considera siempre, también un 23.1% frecuentemente. Ubicándose en la categoría moderada, con un valor promedio de 2.90.

Tabla 4. Palomino - La Guajira, Inventarios Turísticos

DIMENSION	Indicadores	Items	ALTERNATIVAS DE RESPUESTAS								PROMEDIO		
			S	%	F	%	Rv	%	N	%	Prom item	Indi	Dime
Percepción Inventarios de atractivos turísticos	Atractivos Naturales	9	14	70	1	5	4	20	1	5	3.45	2.93	2.54
		10	9	45	8	40	1	5	2	10	3.30		
		11	0	0	1	5	12	60	7	35	2.05		
	Atractivos Culturales	12	2	10	3	15	8	40	7	35	2.35	2.37	
		13	4	20	7	35	5	25	4	20	2.75		
		14	0	0	0	0	11	55	9	45	2.00		
	Superestructura socio técnico - económico	15	1	5	0	0	13	65	6	30	2.10	2.32	
		16	1	5	0	0	4	20	15	75	2.10		
		17	7	35	1	5	6	30	6	30	2.75		

Fuente: elaboración propia (2021)

Cabe destacar, el indicador atractivo naturales, el ítem nueve, el 70% señala que siempre están identificados los atractivos turísticos naturales, con que cuenta el municipio, sigue un 20% apunta rara vez, un 5% dice frecuentemente y por ultimo un 5% estima nunca. Ubicándose en la categoría alta, con un promedio de 3.45.

De acuerdo al ítem diez, un 45% expresa que siempre existen documentos que contienen los sitios naturales, muestra los atractivos necesarios para que se seleccionen por temporada turística, si bien un 40% expresa frecuentemente, más un 10% señala nunca, por ultimo un 5% declara rara vez. Ubicándose en la categoría moderada, con un promedio de 3.30.

Relacionado al ítem once, el 60% declara rara vez se emprenden acciones de restauración de los atractivos turísticos naturales atendiendo las políticas públicas, seguido el 35% declara nunca, más el 5% expresa frecuentemente. Ubicado en la categoría baja, con un valor promedio de 2.05.

Bien sea en el indicador atractivos naturales, el ítem doce, el 40% expone que rara vez cuenta con un inventario sobre los atractivos turísticos culturales de interés para viajar a cada lugar, para el 35% apunta nunca, sin embargo, un 15% manifiesta frecuentemente y por ultimo un 10% señala siempre. Ubicándose en la categoría baja, con un valor promedio de 2.35.

En cuanto al ítem trece, estimo un 35% que frecuentemente se aplican encuesta de satisfacción a los turistas después de la visita a los sitios culturales y atractivos a fin de mejorar su oferta turística, también un 25% declara rara vez, seguido 20% afirma siempre, para el 20% nunca, ubicándose en la categoría moderada, con un valor promedio de 2.75.

Referido al ítem catorce, un 55% considera que rara vez se aplican procedimientos, para la evaluación de atractivos turísticos culturales de acuerdo a la metodología del Ministerio de Turismo del país, no obstante, un 45% apunta nunca. Ubicándose en la categoría baja, con un promedio de 2.00.

La frecuencia en las respuestas del indicador superestructura socio técnico – económica, el ítem quince, un 65% considera que rara vez se evalúa la potencialidad económica del uso de un destino atractivo para el diagnóstico

turístico del municipio, continua un 30% exponiendo nunca, luego un 5% estima siempre. Ubicándose en la categoría baja, con un promedio de 2.10.

En lo que respecta el ítem dieciséis, un 75% de los encuestados declaran que nunca se desarrollan proyectos turísticos considerando los beneficios económicos de la región, así mismo un 20% apuntan rara vez, por otro lado, un 5% revela siempre. Ubicándose en la categoría baja, con un promedio de 2.10.

A saber, en el ítem diecisiete, un 35% expresa que los proyectos turísticos siempre integran varios sectores de la población incrementando la participación comunitaria, por otro lado, un 30% considera rara vez, también un 30% nunca solo en un 5% exhibe frecuentemente. Ubicándose en la categoría moderada, con un valor promedio de 2.75.

Palomino se ha posicionado como un destino turístico de naturaleza en la guajira en los últimos años, debido a que posee unas playas atractivas además goza de una paz y tranquilidad, puedes flotar por el río Palomino, hasta la desembocadura del mar caribe, disfrutar de algunos bares/café, se caracteriza por su gastronomía, su gente es amable, los precios son accesibles, cabe resaltar el desarrollo económico, excelente infraestructura hotelera, lo cual ha generado empleo en esta región, sin embargo, preocupa el hecho que no se esté protegiendo los atractivos naturales.

Ilustración 7. Playas de Palomino



Fuente: guía práctica para visitar Palomino

Ilustración 8. Paseo por el río Palomino



Fuente: guía práctica para visitar Palomino

Según, Pérez de la Heras (2012) la industria del turismo es considerado una oportunidad para desarrollar las potencialidades económicas de las regiones a partir de sus atractivos, existen dos tipos de ingresos: directo es el pago que realiza el turista en el lugar de destino como: pagos de hoteles, restaurantes, tiendas, agentes de viajes, entre otros, los indirectos: son aquellos ingresos que se producen cuando el dinero entra por el turismo se filtra en resto de la economía: importaciones de productos para los visitantes, proveedores locales, salarios a la población local.

Trabajo a futuro

La economía de La Guajira, se basa en los recursos naturales no renovables como el carbón el gas y otros minerales, sin embargo, por su posición geográfica es un potencial en energías alternativas, posee una riqueza natural en sus paisajes, cultura, gastronomía, lo cual se debe aprovechar.

- Proponer proyectos que vinculen a la comunidad en la restauración y conservación de los sitios turísticos del Departamento.
- Gestionar acciones ante los entes gubernamentales que permitan restaurar y conservar los bienes materiales, las manifestaciones inmateriales, los productos y las representaciones de la cultura que son expresión de la nacionalidad colombiana (Ley 1185/2008)
- Propiciar capacitaciones a los operadores que concienticen la conservación y sostenibilidad de los sitios turísticos y culturales
- Sensibilizar a los turistas para que tenga cuidado al momento de visitar los sitios turísticos, evitando la contaminación de aguas, manejo de residuos sólidos. (folletos, cartillas)
- Vincular a la universidad de La guajira, a través de sus programas medio ambiente, trabajo social para apoyar a los agentes de viajes en la sostenibilidad ambiental.

Conclusiones

La investigación alcanza a describir la percepción que tienen los operadores de los atractivos turísticos, los encuestados afirmaron que los turistas identifican los atractivos turísticos naturales que tiene cada municipio, además existen documentos que contienen los sitios naturales para que sean disfrutados por nativos y extranjeros, así mismo, los turistas presentan interés para conocer la cultura. Por otra parte, consideran que el ecoturismo genera un beneficio económico en la región, como generación de empleo, aporta al PIB, entre otros. Además, se requiere articular los esfuerzos de los operadores turísticos los cuales consideran que les ha tocado solo posicionar estos destinos turísticos, necesitan del acompañamiento de los entes gubernamentales y la academia clave para el desarrollo del mismo.

Referencias

- [1] Organización Mundial de Turismo OMT (2017), <https://www.unwto.org/es/desarrollo-sostenible>
- [2] Blanco Romero, Canoves, y Prat Villarino. *Turismo de interior en España*. Madrid, 2019
- [3] A, Diego Navarro (2022), cuaderno de turismo, volumen, file:///D:/Downloads/Recursos_turisticos_y_atractivos_turisticos_concep.pdf
- [4] R. Hernandez, C. Fernandez, P. Batista, *Metodología de la investigación*, (2017) Mc Graw Hill
- [5] Camara de comercio de la Guajira, informe anual (2018)
- [6] E. Bonilla, Blanchar, *Metodología de la investigación* (2018)

Modificación y actualización en plataforma de citas acorde necesidades operativas mediante asesoría del usuario final

Andrés Uriel Callejas Ponce^{1*}, Eduardo Fuentes Alvarez², Edgar Sandoval-García³...
^{1,2,3} Tecnológico Nacional de México/TES de Cuautitlán Izcalli, Posgrado de Ingeniería Administrativa,
213111004@cuautitlan.tecnm.mx, 213111008@cuautitlan.tecnm.mx, edgar.sg@cuautitlan.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Actualmente se vive un proceso de mejoras tecnológicas donde innovar y actualizar procesos ayuda a continuar dentro del mercado o aumentar la competitividad, hoy la solicitud de citas para entrega de proveedores en una empresa dedicada al sector restaurantero a su centro de distribución es bajo una plataforma en internet donde cumple con una necesidad básica de aceptación sin una correcta administración generando falta de control en procesos ocasionando complicaciones internas y externas, la implementación de la plataforma mostro como resultado inmediato simplificar la solicitud de cita, con la asesoría propuesta mediante el método SCRUM se incluye la visión de los dueños de negocio y no solo desarrollador de plataforma para poder alimentarla con datos y funciones que permiten la generación de indicadores logrando una mejor planificación y consulta en línea para que los diferentes involucrados en este proceso obtengan datos instantáneos generando valor a toda la cadena de suministro.

Palabras clave: Control, Administración, Planificación, Simplificar

Abstract

Currently there is a process of technological improvements where innovating and updating processes helps to continue within the market or increase competitiveness, today the request for appointments for delivery of suppliers in a company dedicated to the restaurant sector to its distribution center is under an internet platform where it meets a basic need for acceptance without a correct administration generating lack of control in processes causing internal and external complications, the implementation of the platform showed as an immediate result simplify the appointment request, with the advice proposed through the SCRUM method includes the vision of business owners and not only platform developer to be able to feed it with data and functions that allow the generation of indicators achieving a better planning and online consultation so that the different people involved in this process obtain instant data generating value to the entire supply chain.

Key words: Control, Administration, Planning, Simplify

Introducción

La empresa dedicada al sector restaurantero es líder en América Latina con marcas de reconocimiento global y más de 2000 unidades solo en Mexico, cuenta con un portafolio multimarca pero debido a un control deficiente en el proceso de asignación de citas en su centro de distribución se tienen diferentes problemas como los son la saturación de proveedores en acceso a centro de distribución, congestión de vialidades cercanas a instalaciones, bajos niveles de inventario o datos erróneos, desviaciones operativas, por lo que se brindara asesoría de los dueños de proceso operativo a los desarrolladores de la plataforma digital con la finalidad de potenciarla y dar dirección desde ese enfoque para que no solo sea capaz de concentrar información sino que también se pueda administrar en tiempo real a los proveedores, generar datos y brindar información que pueda facilitar la toma de decisiones al alcance de todos desde la portabilidad de un teléfono celular, dando solución a los problemas actuales y mejorando la herramienta ya establecida.

En la actualidad se avanza en una nueva era donde las tecnologías de la información y comunicación son el principal agente de la difusión de la ciencia, cultura e información generada. [1]

La logística en épocas anteriores buscaba únicamente conseguir que el producto estuviese en el sitio adecuado en el tiempo indicado con el menor costo posible, sin embargo, estas acciones se han vuelto cada vez más complejas por lo que los objetivos asociados a ella incorporan nuevos criterios de efectividad y optimización de la atención al cliente. [2]

El propósito de esta investigación es mostrar las modificaciones aplicadas a la plataforma de citas con la que la organización cuenta presentándolas de una manera funcional para el usuario operativo que fue destinada facilitando sus procesos y brindando la posibilidad de administrar su capital humano de una manera eficiente, la organización puede privilegiar la excelencia de su capital humano con la adecuada asignación de sus deberes. [3]

Para el desarrollo del proyecto se utilizó el método Scrum debido a la agilidad que brinda definido mediante sprints donde se requiere poco tiempo para un entregable e implementación en productivo, esta metodología también requiere de un equipo bajo en cantidad de integrantes para poder realizar reuniones con usuarios finales directamente involucrados en la mejora del proyecto, [4] Jean Paul SUBRA indica en Scrum no existe un proyecto exitoso sin un Product Backlog bien construido e inteligentemente priorizado.

Como parte de los objetivos inmediatos se enumeraron las 10 necesidades básicas a implementar o modificar a la brevedad para maximizar los beneficios de la plataforma y comenzar a controlar a través de ella, más adelante se detallaran estos puntos pero se pueden adelantar resultados satisfactorios en cada uno que fueron mejorando no solo el tramo que les correspondía sino también factores cercanos a ellos como la productividad, la confiabilidad del proveedor en nosotros para los tiempos de cita y los niveles de inventario al tener la certeza de que un producto entraría en fecha programada concluyendo que la asesoría brindada a los desarrolladores de plataforma fue satisfactoria acorde a visibilidad de dueños de negocio y usuarios finales encontrando algunas limitantes es estas fases iniciales como lo son la falta de información o datos a estandarizar por lo que se presentó la necesidad de comenzar de cero, otro punto la búsqueda de los desarrolladores ya que se encontraban en oficinas retiradas del centro de distribución y finalmente el capital a autorizar para algunos desarrollos a implementar en la plataforma.

Los altos costos financieros limitan la rentabilidad de diversos proyectos, pues los hace poco atractivos y aleja la inversión de la mayoría de las actividades productivas. [5]

Preparación

Para la optimización de la plataforma acorde a las necesidades operativas se utilizó un enfoque cuantitativo con un diseño transversal y la metodología Scrum donde se estableció un plan de reuniones periódicas con los desarrolladores de plataforma (equipo de desarrollo) y el dueño del producto (Andres Uriel Callejas) donde de manera diaria se colocaron los requerimientos y se presentaban las oportunidades en la implementación indicando los problemas que estos presentarían dentro de plataforma para la revisión y búsqueda de opciones para lograr plasmar la visión operativa que se tiene y potenciar su uso dentro de la organización. [6]

SCRUM es un marco de trabajo iterativo e incremental para el desarrollo de proyectos y se estructura en ciclos de trabajo llamados Sprints. Éstos son iteraciones de 1 a 4 semanas, y se suceden una detrás de otra. Al comienzo de cada Sprint, el equipo multi funcional selecciona los elementos (requisitos del cliente) de una lista priorizada. Se comprometen a terminar los elementos al final del Sprint. Durante el Sprint no se pueden cambiar los elementos elegidos. Al final del Sprint, el equipo lo revisa con los interesados en el proyecto y les enseña lo que han construido. [7]

Desarrollo

La empresa cuenta con una plataforma para solicitud de citas en red denominada módulo de citas, esta plataforma fue desarrollada aproximadamente hace seis años con una visión de negocio diferente a la que se tiene en actualidad, ella no se ha actualizado desde su creación por lo que pese a ser una plataforma en la web no cumple con las necesidades del nuevo mercado.

Con una visión renovada a las necesidades actuales se estableció una estrategia donde se colocará la plataforma a la vanguardia por medio del método Scrum.

Como primer paso se convocó a los especialistas y desarrolladores de plataforma para saber el alcance de esta plataforma y evaluar las diferentes opciones entre una actualización de funciones o una generación de nueva plataforma con los requerimientos operativos actuales, una vez evaluada la viabilidad de actualización se convocó a los responsables operativos del centro de distribución para la generación del product backlog el cual incluye las necesidades básicas de organización de tiempos y distribución de espacios de andén, opción de aplanamiento en citas por fecha, segregación de tipos de entrega, estadístico de asistencias y nivel de entrega, evaluación al proveedor con evidencias fotográficas, carga de documentos en portal para revisión anticipada a día de cita, función de reportes y monitor de ingresos.

Acorde a la metodología se realizaron reuniones diarias para revisar las necesidades y opciones para desarrollar lo requerido dentro del alcance momentáneo de la plataforma y planificar en caso necesario el presupuesto para implementar lo solicitado en backlog.

Durante los sprints fueron evaluadas las necesidades y se priorizaron las actividades a realizar ponderando como número uno la necesidad de un cálculo correcto de tiempos de proceso para lo que se realizó un estudio de tiempos y movimientos con las variantes de transportes que presentaban los proveedores con la finalidad de tener exactitud en los datos a incorporar a la plataforma y obtener un programa mas cercano a una capacidad real.

Resultados y discusión

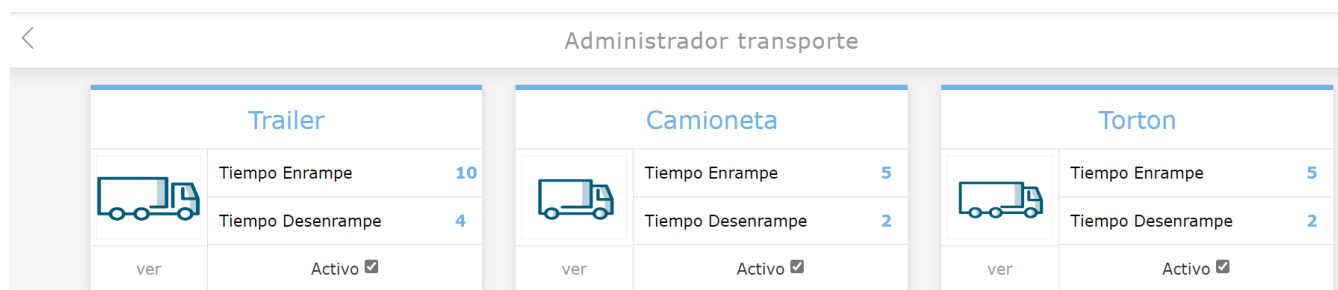
A continuación, se presentan los avances que se fueron obteniendo conforme las etapas y ponderación de actividades a realizar acorde a puntos principales de control para una mejora y control inmediato.

Primeros resultados

La necesidad inmediata era controlar los tiempos reales o que fueran lo más cercanos a lo que se vivía operativamente para un cálculo correcto de citas a recibir por día, para esto se elaboró un plan de medición en piso donde se cronometra el proceso con cada variante durante un periodo de un mes estableciendo una base de información, una vez obtenidos datos más certeros de maniobras por unidad se implementó dentro de la plataforma un indicador con opción editable de los tiempos establecidos para el ingreso por categoría, contando con este parámetro pasado el tiempo sugerido por plataforma se revisa de manera operativa estatus de unidad para identificar problemática y corregir a la brevedad buscando anticipar una problemática diversa.

Es lógico pensar que para aumentar la satisfacción de nuestros clientes debemos disminuir el tiempo máximo o eficiencia garantizando calidad y fiabilidad del pedido. Y sobre todo respetar los plazos comunicados al cliente, no hacerlo así genera un alto grado de insatisfacción. [8]

La figura 1 muestra la primera necesidad cumplida donde se establece un tiempo más aproximado a lo real de maniobra en plataforma por unidad desde patio de proveedores hasta rampa de descarga






Administrador transporte		
Trailer	Camioneta	Torton
		
Tiempo Enrampe 10	Tiempo Enrampe 5	Tiempo Enrampe 5
Tiempo Desenrampe 4	Tiempo Desenrampe 2	Tiempo Desenrampe 2
ver	ver	ver
Activo <input checked="" type="checkbox"/>	Activo <input checked="" type="checkbox"/>	Activo <input checked="" type="checkbox"/>

Figura 1. Modulo editable de tipos de transportes y tiempos de maniobra

La figura 2 ilustra el complemento solicitado para el paso inicial de organización de tiempos con el cual se colocó en plataforma un módulo editable donde se establece el tiempo promedio de operación acorde a cada tipo de entrega, se solicitó fuera opción abierta de edición para administrador buscando la eficiencia con el paso de la evolución y optimización de la plataforma.



Figura 2. Modulo editable de variantes a la entrega

Contando con los anteriores temporizadores se dio paso a la siguiente necesidad, la distribución de espacios de andén y segregación de entregas.

Para esta etapa se solicitó al equipo de desarrollo se vinculara la información obtenida previamente con un modelo real acorde a la infraestructura del centro de distribución anteriormente se tenían andenes virtuales que permitían el acceso de hasta 20 proveedores en un mismo horario causando saturación a falta de capacidad instalada, con dicho modelo se plantearon horarios máximos de descarga donde se limitaba la cantidad de unidades a descargar por rampa en centro de distribución buscando garantizar se cumplieran los tiempos calculados en plataforma, en este mismo paso se segmentaron tipos de entrega acorde a temperaturas obteniendo el beneficio de una correcta dirección de unidades por temperatura y administración de capital humano canalizándolo de manera anticipada los recursos a la zona donde se tuviera la mayor demanda de unidades a ingresar.

La figura 3 muestra la segmentación que se realizó para los tipos de entrega donde se solicitó a desarrolladores tres variantes, "Normales" donde el proveedor podrá solicitar con una anticipación máxima de 10 y un mínimo de 2 días, "Urgencias" este módulo se solicitó para ingresos urgentes donde solo el personal de la organización en comunicación con el administrador de plataforma podrá generar un espacio para la entrega y así tener un aplanamiento de entregas o visión de una saturación por necesidad e "Importados" con acceso para el coordinador especializado de importaciones donde ingresara con un día de anticipación las unidades que hayan pasado la aduana y presenten posicionamiento en fecha inmediata de cruce.

Con estos andenes se ha logrado evitar llegada masiva de unidades y saturación de instalaciones o alrededores, adicional a la segmentación por temperatura solicitada que se solicitó estos andenes proporcionarían.

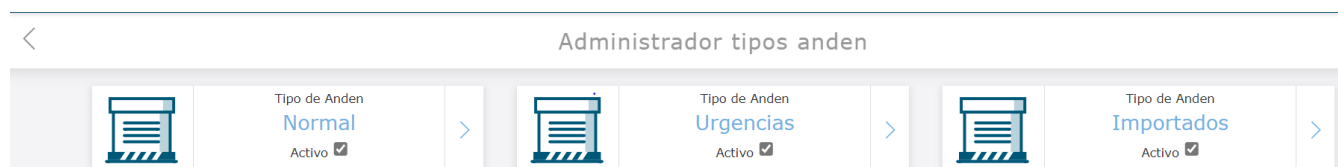


Figura 3. Administrador de andenes

Segundos resultados

Con los primeros resultados obtenidos, la constancia mostrada por las solicitudes y cambios plasmados en plataforma se procedió a la segunda etapa donde se solicitó y asesoró al equipo de desarrollo sobre la necesidad de un estadístico de asistencias y nivel de entrega de proveedor que pudiera ser resguardado en una base dentro

de plataforma y tuviera la opción de ser consultado en cualquier momento para obtener datos precisos sobre el comportamiento de alguno de los proveedores.

Este paso necesito un análisis a detalle donde se consultaron áreas especializadas como calidad o seguridad patrimonial para obtener el catálogo de preguntas precisas que brindaran posterior a la evaluación información útil para todos los participantes de la cadena de suministro con fines de mejora continua.

De un conjunto de posibles proveedores, se selecciona aquel que satisfaga de la mejor forma posible los requerimientos de la empresa. Resulta conveniente destacar que la mayoría de las técnicas de evaluación permiten tomar la decisión a partir de establecer medidas de distancias entre proveedores ideales, es decir que satisfagan de manera óptima lo requerimientos de la empresa o, en su defecto, en índices de semejanza entre los diferentes proveedores analizados. [9]

La imagen muestra la amplitud de la evaluación a realizar, buscando optimizar tiempos se comunicó al equipo de desarrollo se presentará preelaborada con modelo de entrega correcta para en caso de tener desviaciones se pudiera colocar de manera puntual el área a trabajar con evidencia fotográfica. A medida que pasa el tiempo las organizaciones tienden a depender más de sus proveedores, es por ello que el proceso de selección de proveedores ha sido ampliamente estudiado y se han desarrollado múltiples técnicas, que consideran criterios tanto cuantitativos como cualitativos para garantizar así una correcta selección de estos, acorde a las necesidades de la organización. [10]



Figura 4. Catálogo de preguntas para eficiencia de proveedores

Terceros resultados

Como parte del plan establecido en un inicio la etapa siguiente está basada en la anticipación documental para el cierre de oportunidades a la llegada de proveedor, dentro de esta se comunicó y asesoro acerca de los documentos requeridos a la entrega, la posible cantidad de hojas a subir para el cálculo por desarrolladores de espacio disponible en memoria y posibles desviaciones en la carga de ellos.

Ya con los controles y filtros colocados previamente en plataforma y en constante evaluación para monitoreo de resultados satisfactorios, en esta etapa se busca evitar un modelo reactivo garantizando por medio del acceso a portal al administrativo de recibo la opción de evaluar la documentación antes del arribo de proveedor para en caso de presentar un documento faltante por operador se puede imprimir al momento evitando estadía y atraso en ingreso esperando él envió de documento faltante por proveedor o áreas staff.

En caso de omisión de documentación se coloca la desviación dentro de la evaluación a proveedor creando el estadístico para el desarrollo de un plan de acción por el comprador o planeador de la demanda y proveedor para corrección de oportunidades.

Una nueva etapa surgió a raíz del desarrollo del entorno digital, desde los años 90 la documentación y gestión de las colecciones se benefició de la difusión de los ordenadores personales, una limitación de los archivos físicos reside en la imposibilidad de establecer búsquedas a partir de cualquier tipo de concepto. [11]

La figura 5 presenta la pantalla que visualiza en administrativo previo o durante la entrega donde puede consultar todos los documentos previamente cargados por proveedor y obtener el faltante de inmediato para evitar atrasos a la operación.

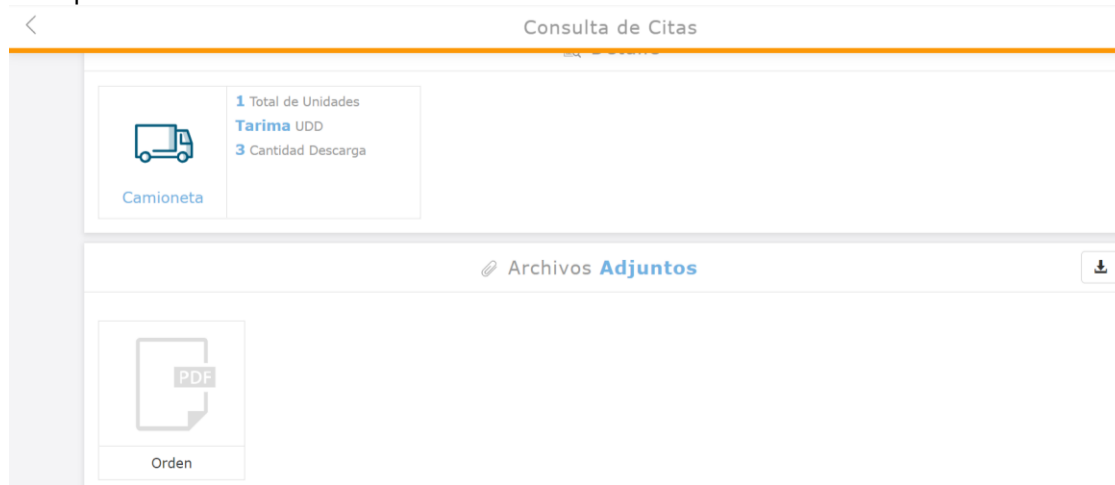


Figura 5. Documentos anexos en cita de proveedor

Últimos resultados

Como última fase de proceso se contempló y solicito a desarrolladores de plataforma la opción de reportes, así como un monitor de ingresos en tiempo real para consulta de todos los partícipes de la cadena de suministro.

Dentro del módulo de reportes se solicitaron las opciones históricas de detalle de citas, disponibilidad de citas, citas canceladas, citas de importación, reportes de productos a detalle y detalle de entregas validadas.

Con estas opciones se cubre la necesidad de información para la toma estratégica de decisiones dentro del negocio en cualquier área de la cadena de suministro.

La estadística se aplica dentro de la organización de una empresa en las áreas de producción, finanzas, contabilidad, personal y mercados, la estadística se puede definir como el método que permite no solo describir el hecho o fenómeno sino deducir y evaluar conclusiones acerca de una población utilizando resultados proporcionados por una muestra. [12]

Con la figura 6 se muestran las opciones de filtros para obtener una búsqueda específica y precisa.

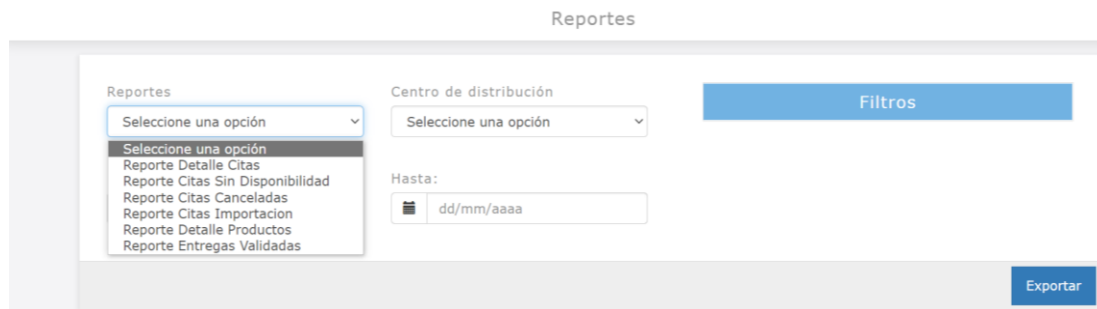


Figura 6. Opciones de reportes

La figura 7 muestra el monitor solicitado con el cual se podrá visualizar ubicación en tiempo real de una orden de compra, producto o unidad transportista para con esto lograr tener exactitud de información y anticipación en las decisiones de artículos críticos o urgentes para los procesos siguientes en la cadena de suministro.



Figura 7. Monitor de recibo

Como parte de los resultados del trabajo y evolución en la plataforma a partir de ello se implementó un indicador Dashboard con la información necesaria para una correcta toma de decisiones durante el proceso operativo diario donde se estará midiendo lo siguiente: cumplimiento y avance de proveedores que solicitan cita, tipo de desviaciones presentadas por proveedor, asistencia de plantilla, productividad de plantilla, área de mayor necesidad de recursos para solventar programa de entregas.

En figura 8 se muestra la información que inicialmente se tenía donde solo se manejaba en base a una hoja de cálculo el horario y listado de proveedores a recibir desaprovechando funciones o beneficios que pudiera brindar la hoja de cálculo para una obtención de más información.

Una hoja de cálculo o programa de hojas de cálculo es un programa que permite manipular datos numéricos y alfanuméricos dispuestos en forma de tablas (la cual es la unión de filas y columnas) para realizar cálculos automáticos y complejos con fórmulas y funciones de números que están en la tabla, y dibujar distintos tipos de gráficas. [13]

FCCentroDistribucion	FCTemperatura	FCNombreProveedor	FDFechaEntrega	FDHoralicioEntrega	FCOrdenCompra	FTarimas	TotalProductos	FCDescripcionTransporte	UnidadDescarga
CD METROPOLITANO	Seco	POLY PELICULAS IMPRESAS SA DE CV	11/03/2022	06:01:00 a. m.	160930-314	6	10	Camioneta	Tarima
CD METROPOLITANO	Seco	BARCA DE MEXICO SA DE CV	11/03/2022	06:01:00 a. m.	161067-172	24	792	Trailer	Tarima
CD METROPOLITANO	Seco	DART DE MEXICO S DE RL DE CV	11/03/2022	06:01:00 a. m.	165067-802	28	36	Trailer	Tarima
CD METROPOLITANO	Seco	GRIFFITH FOODS SA DE CV	11/03/2022	06:01:00 a. m.	175347-127	24	1440	Trailer	Tarima
CD METROPOLITANO	Seco	PRODUCTOS PRACTICOS UTILES SA DE CV	11/03/2022	06:01:00 a. m.	197281-33	26	312	Trailer	Tarima
CD METROPOLITANO	Seco	HERDEZ SA DE CV	11/03/2022	06:01:00 a. m.	199273-29	28	144	Trailer	Tarima
CD MANUFACTURA	Refrigerado	SCHETTINO HIVOS S RL DE CV	11/03/2022	06:01:00 a. m.	466121-155	8	150	Torton	Tarima
CD MANUFACTURA	Refrigerado	SIGMA FOODSERVICE COMERCIAL S DE RL DE CV	11/03/2022	06:01:00 a. m.	965010-15	4	125	Camioneta	Tarima
CD METROPOLITANO	Refrigerado	INIX COMERCIAL SA DE CV	11/03/2022	06:41:00 a. m.	190680-426	6	60	Camioneta	Tarima
CD METROPOLITANO	Congelado	MARCAS NESTLE SA DE CV	11/03/2022	07:01:00 a. m.	165969-250	13	10	Torton	Tarima
CD METROPOLITANO	Congelado	AAK MEXICO SA DE CV	11/03/2022	07:21:00 a. m.	161130-146	22	880	Trailer	Tarima
CD METROPOLITANO	Congelado	ECODELI COMERCIAL SA DE CV	11/03/2022	08:01:00 a. m.	201831	1	1000	Torton	Tarima
CD METROPOLITANO	Congelado	PROVEEDORES DE INGENIERIA ALIMENTARIA SA DE CV	11/03/2022	08:01:00 a. m.	161365-156	10	886	Torton	Tarima
CD METROPOLITANO	Congelado	CHEF MART SA DE CV	11/03/2022	08:21:00 a. m.	161058-416	3	1728	Camioneta	Tarima
CD METROPOLITANO	Congelado	KERRY INGREDIENTS DE MEXICO SA DE CV	11/03/2022	08:41:00 a. m.	161232-458	26	528	Trailer	Tarima

Figura 8. Formato inicial de control

La figura 9 muestra la organización de fechas y horarios en la plataforma garantizando el evitar empalmes o errores de asignación delimitando de manera anticipada por un administrador los horarios brindados a los proveedores para una selección de entrega garantizando de esta manera el cumplimiento en base a un programa de citas previamente establecido dando un abasto correcto de las materias primas o materiales para la continuidad de la cadena de suministro.

El incumplimiento de proveedores puede interrumpir operaciones, retrasar la terminación o la cancelación de pedidos, e incluso, propiciar la pérdida de clientes. [14]

Editar Agenda para CD METROPOLITANO

Seleccionar **Fecha a consultar**

Fecha a consultar

20/08/2022

Puertas	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
+ NS0																									
+ NS1																									
+ NS2																									
+ NS3																									
+ NS4																									
+ NC5																									
+ NC6																									
+ NC7																									
+ NC8																									

Figura 9. Formato elaborado en plataforma

La figura 10 muestra el dashboard elaborado para compartir de manera simplificada datos relevantes conforme avanza la operación diaria para una toma de decisiones asertiva por los dueños y líderes de proceso.

Un dashboard permite el análisis y monitoreo del desempeño de una organización de una forma efectiva, esta herramienta visualiza las métricas claves de desempeño de una organización (KPI's por sus siglas en inglés de Key Performance Indicators) y utiliza diferentes modelos para visualizar, medir y monitorear dichas métricas para todos los niveles de la organización [15]

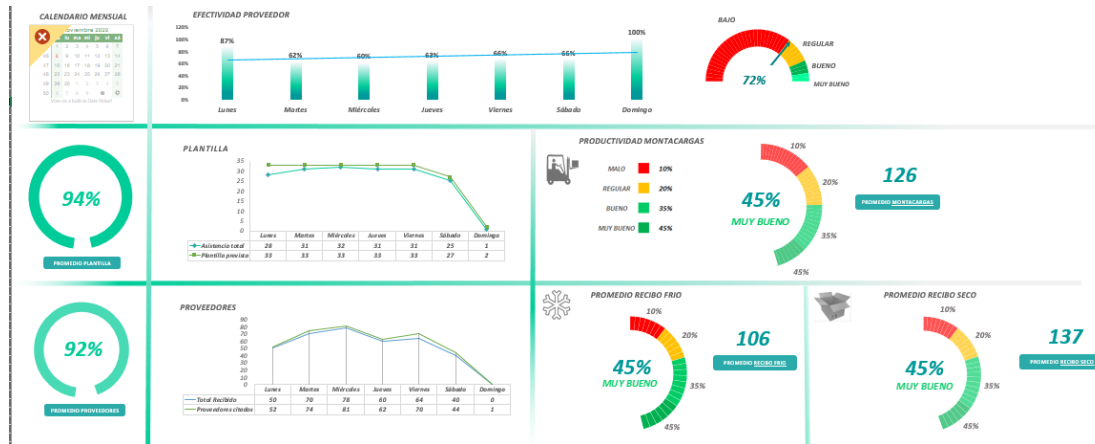


Figura 10. Dashboard control operativo

Trabajo a futuro

Con las modificaciones solicitadas y realizadas en plataforma se tiene pendiente la generación de un banco de datos estadísticos que brinden en un futuro la información precisa y específica de los procesos, así como las evidencias para poder desarrollar planes de trabajo con proveedor y así corregir o buscar mejoras en las áreas de oportunidad presentando reportes concretos con conceptos, fotografías, fechas y detalles, al momento la revisión de evaluación

es solo del día en curso, para caso de históricos solo se puede obtener por medio de desarrolladores de plataforma.

Conociendo la información se tiene planeado la generación de un top de proveedores confiables donde estos con base a sus resultados quedaran exentos por un periodo de las evaluaciones lo cual generara como consecuencia fluides a las operaciones de ambas organizaciones (Empresa-proveedor), caso contrario se puntualizará en los proveedores y áreas a trabajar de manera asertiva.

Otro punto pendiente para la siguiente fase de la plataforma es implementarla en todos los centros de distribución de la empresa, para estandarizar los procesos y planes de acción en cada uno de ellos buscando evitar confusiones a proveedores debido a modelos diferentes.

Como fase final se tiene planificado elaborar una APP para mejorar la portabilidad y proporcionar a líneas de supervisión la facilidad de realizar desde un dispositivo móvil sin necesidad de una maquina portátil como sucede en este momento.

Conclusiones

La asesoría brindada en este proyecto a los desarrolladores de la plataforma logro complementar de manera significativa el uso de ella con visión operativa obteniendo resultados notables a partir de cada uno de los aportes en todas las fases resultado en una eficiencia al recibo que permite en este momento anticipar la anterior problemática de saturación y falta de control corrigiendo de raíz, impulso la productividad de los colaboradores así como la disminución de re trabajos y daños operativos a la mercancía.

Por lo que puedo resolver que las modificaciones a la plataforma funcionan de manera correcta al momento teniendo la opción de potencializar su uso en un futuro no lejano buscando llegar a la expansión de esta en otros centros de distribución.

A continuación, se muestran algunos de los indicadores que se lograron obtener gracias a las modificaciones en plataforma brindando datos para trabajar en planes de mejora con los proveedores para tener una mayor eficiencia logística y relaciones de trabajo.

En la imagen 11 se muestra con exactitud información descargada de plataforma que indica eficiencia de proveedores a la entrega y muestra en otras opciones detalles de nombres y áreas de oportunidad a mejorar

Mes	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio
Citas programadas	1459	1341	1832	1849	1996	1738	1795
Cumplen	1313	1205	1679	1621	1779	1532	1491
No cumplen	146	136	153	228	217	206	304
% Eficiencia	89.99%	89.86%	91.65%	87.67%	89.13%	88.15%	83.06%

Figura 11. Estadístico mensual eficiencia proveedor

Otro beneficio inmediato como se muestra en la figura 12 es la optimización de la plantilla para el área operativa involucrada con la plataforma logrando una disminución del 14% al momento, pudiendo canalizar el recurso humano a otra zona para mejorar o apoyar otros procesos

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio
Plantilla	40	38	37	37	36	36	35
		5.26%	8.11%	8.11%	11.11%	11.11%	14.29%

Figura 12. Eficiencia de plantilla

Elevar la productividad, eficiencia, calidad o simplemente llevar un adecuado control en general de cualquier empresa o área en específico, exige un mayor esfuerzo rumbo a la calidad, y mejora continua, sobre el proceso, producto o servicio que ofrece la misma; inclusive infraestructura, equipos o herramientas que tiene o se utilizan dentro de dicha organización. [16]

Referencias

- [1] M. R. R. H. B. R. M. Margarita Ramírez Ramírez, «Metodología SCRUM y desarrollo de Repositorio,» *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, vol. 01, nº E17, pp. 1062-1072, 2018.
- [2] A. I. B. Boubeta, «Distribución Logística y Comercial,» de *La Logística en la Empresa*, España, Ideas Propias, 2007, pp. 1-34.
- [3] F. Ganga Contreras, A. Cassinelli Capurro, G. Díaz Santis y S. Maluk, «Breves disquisiciones teóricas en torno al tema capital humano y eficiencia organizativa,» *Gaceta Laboral*, vol. 22, nº 1, pp. 27-39, 2016.
- [4] J. P. Subra, *Scrum Un método ágil para sus proyectos*, Francia: Ediciones ENI, 2020.
- [5] G. C. Mora y Ó. P. Rodríguez, «Crecimiento inclusivo: una estrategia integral para la obtención de los objetivos de desarrollo sostenible,» *Desarrollo y Sociedad*, p. 29, 2020.
- [6] K. S. y. J. Sutherland, «La Guía de Scrum,» 2014. [En línea]. Available: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v1/Scrum-Guide-ES.pdf>. [Último acceso: 07 07 2022].
- [7] M. Díaz-Rosado, A. Castro-Villagrán, E. J. González-Ehuan y e. al., «Automatización de las evaluaciones diagnosticas a gran escala por medio de la metodología SCRUM,» *Conciencia Tecnológica*, vol. 1, nº 1, p. 15, 2018.
- [8] M. d. I. A. Juárez, «Optimización de la Cadena Logística,» de *Optimización de la Cadena Logística*, España, Ediciones Paraninfo S.A, 2019, pp. 01-43.
- [9] M. O. Torres, F. M. Sanchez, O. O. Santos y Y. M. Ancizar, «Metodología para la evaluación de proveedores,» *Espacios*, vol. 39, nº 27, p. 24, 2018.
- [10] C. A. Parra-Calderón, J. C. Osorio-Gómez y J. Escandón-López, «Metodología multicriterio para la selección de proveedores bajo consideraciones de riesgo,» *Universidad Tecnológica de Pereira*, vol. 1, nº 1, p. 21, 11 11 2018.
- [11] M. G. A. P. J. F. O. Angel Sanchez, «Del papel a la Red. Inventarios y catálogos del museu de prehistoria de Valencia,» *Museo de Prehistoria de Valencia*, nº XXXII, pp. 357-378, 2018.
- [12] C. M. Bencardino, *Estadística Básada Aplicada*, Bogota: Ediciones Ecoe, 2019.
- [13] V. Almenar Llongo y F. Hernández Sancho, «Excel como herramienta docente de las asignaturas de Microeconomía,» *@tic Revista de innovación educativa*, nº 3, pp. 108-114, 2009.
- [14] A. J. Ruiz Torres, J. H. Ablanado Rosas y J. Ayala Cruz, «Modelo de asignación de compras a proveedores considerando su flexibilidad y probabilidad de incumplimiento en la entrega,» *Estudios Gerenciales*, vol. 28, nº 122, pp. 29-48, 2012.
- [15] H. Lempinen, «Constructing a Design Framework for Performance Dashboards,» Semantic scholar, 17 08 2012. [En línea]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Constructing-a-Design-Framework-for-Performance-Lempinen/e44d2da9cce669d83725bfe492933cc0f9bfbb1c>. [Último acceso: 22 08 2022].
- [16] S. Montesinos González, C. Vázquez Cid de León, I. Maya Espinoza y e. al., «Mejora continua en una empresa en México: Estudio desde el Ciclo Deming,» *Revista Venezolana de Gerencia*, vol. 25, nº 92, p. 20, 2020.

Diseño e implementación de una plataforma tecnológica enfocada al fortalecimiento de las competencias emprendedoras.

T. López Venegas¹, G. Cabrera Zepeda², E.A. Romero Flores², F. Aguirre y Hernández² M. Panzi Utrera².

¹ Estudiante de Maestría en Ingeniería Administrativa del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba.

² División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba.
Avenida Oriente 9 No. 852 Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Ver.
teresita.lv@orizaba.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa.

Resumen

El presente trabajo es el resultado de la implementación de una plataforma tecnológica enfocada al fortalecimiento de las competencias emprendedoras de los estudiantes del Instituto Tecnológico de Orizaba.

Se utilizó un instrumento de medición que permitió realizar un diagnóstico inicial del status de las competencias emprendedoras en un grupo piloto de estudiantes.

Con los resultados del diagnóstico se realizó un análisis de brechas para detectar las debilidades en las competencias y subcompetencias que conforman el perfil emprendedor, para posteriormente cerrar esas brechas a través del curso "Espíritu emprendedor" que se instaló en la plataforma empretecn.com.

Una vez terminado el curso se procedió a realizar una segunda medición de competencias emprendedoras para evaluar los resultados del uso de la plataforma tecnológica en los atributos de las competencias emprendedoras.

Los resultados permitieron minimizar la brecha, lográndose un impacto significativo en el conocimiento de las competencias emprendedoras de los estudiantes que conformaron la muestra.

Palabras Clave: Competencias emprendedoras, Análisis de brechas, Medición.

Abstract

The present work is the result of the implementation of a technological platform focused on strengthening the entrepreneurial skills of the students of the National Technological Institute of Mexico / Orizaba Technological Institute.

A measurement instrument was used that allowed an initial diagnosis of the status of entrepreneurial skills in a pilot group of students.

With the results of the diagnosis, a gap analysis was carried out to detect the weaknesses in the competencies and subcompetencies that make up the entrepreneurial profile, to later close those

gaps through the "Entrepreneurial Spirit" course that was set up on the empretecnm.com platform for its implementation and control.

Once the course was finished, a second measurement of entrepreneurial skills was carried out to determine the impact of the use of the technological platform on the strengthening of entrepreneurial skills. A second gap analysis was conducted and strategic planning is proposed to close that gap.

Keywords: *Entrepreneurial skills, Gap analysis, Measurement.*

Introducción

El Global Entrepreneurship Monitor (GEM) es la investigación más importante que se realiza a nivel mundial en temas de emprendimiento. En su reporte global 2020/ 2021 México obtuvo una calificación de 4.1 en una escala del 1 al 10 que lo coloca en la posición 33 de 44 países participantes del Índice del Contexto Nacional de Emprendimiento (NECI). Estos indicadores evidencian la urgente necesidad de reforzar las políticas gubernamentales para fomentar el espíritu emprendedor y la creación o desarrollo de nuevas empresas, toda vez que de acuerdo con la ONU el emprendimiento es la base del desarrollo económico de un país. [1]

El Gobierno Federal ha contemplado dentro del Plan Nacional de Desarrollo líneas de acción y ejes estratégicos para promover el emprendimiento. Una de esas líneas está direccionada a las universidades del país que tienen el compromiso de apuntalar la educación para el emprendimiento a través de sus planes y programas de estudio. [2]

Como respuesta a esta problemática el Tecnológico Nacional de México /ITO alineado al PND, ha creado un ecosistema emprendedor consistente en cuatro programas que son: Modelo Talento Emprendedor, InnovaTecNM (anteriormente ENEIT), Red de Centros de Incubación e Innovación Empresarial y la Transferencia Tecnológica. A pesar de estos esfuerzos, y de acuerdo con el informe de Gestión del TecNM del año 2019 únicamente el 0.52% de la población estudiantil está emprendiendo. [3]

Es por ello que en el Instituto Tecnológico de Orizaba alineado al Plan Nacional de Desarrollo realiza acciones tendientes a promover la cultura de emprendimiento a través de una medición de las competencias emprendedoras de los estudiantes para poder determinar la brecha existente entre las competencias emprendedoras percibidas y las competencias deseadas para posteriormente proponer objetivos estratégicos que permitan cerrar esa brecha y fortalecer las competencias que presentan debilidad o bien que no se encuentran desarrolladas.

Metodología.

1. Recolección de datos

La primera etapa consistió en recolectar los datos concernientes a las variables implicadas en la investigación. Recolectar los datos requirió tres actividades intrínsecamente vinculadas entre sí: 1. Seleccionar un instrumento de medición de los disponibles en el estudio de las competencias emprendedoras 2. Aplicar ese instrumento de medición, es decir, obtener las observaciones y mediciones de las variables que son de interés para el estudio. 3. Codificar, analizar e interpretar estas mediciones.

2. Selección del instrumento

Se seleccionó y aplicó un instrumento de medición de competencias emprendedoras denominado "Cuestionario Competencia Emprendimiento Universitario" (CCEU) diseñado y validado previamente por sus autores Rafael Alcaráz; Esmeralda Guillén Tortajada, M^a Pilar Jiménez Martínez, László Szalai y A. Caballero García presentado en su investigación "Diseño y validación inicial de un instrumento de medición de la competencia emprendedora sobre su tratamiento y comunicación en las aulas universitarias". [4]

El test fue aplicado en dos momentos, al inicio del curso con el fin de contrastar el diagnóstico inicial y al término del curso con el fin de medir el grado de eficacia del curso en el desarrollo de la competencia.

Las preguntas fueron evaluadas considerando el modelo de Rensis Likert con el objetivo de evaluar las competencias emprendedoras de los estudiantes del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba. El instrumento está seccionado en cuatro partes. Las competencias se clasificaron de acuerdo al instrumento aplicado en 4 dimensiones que son:

- Identificación de oportunidades identificado con las siglas (IO)
- Desarrollo de soluciones identificado con las siglas (DS)
- Aprender del fracaso identificado con las siglas (AF)
- Consciencia sobre su emprendimiento identificado con las siglas (CE)

3. Aplicación del instrumento (Inicio)

La aplicación del cuestionario se realizó de manera directa, a los estudiantes del Instituto mediante el uso de la herramienta Google forms con la siguiente liga electrónica <https://docs.google.com/forms/d/1u8BzINPyIbgonhQOGAecFuAw0x5cSu1KPCEkyoS3nTQ/edit>

La muestra trabajada se conformó con un total de 73 estudiantes que representan 3 grupos piloto (1 de Ingeniería Industrial y 2 de Ing. en sistemas computacionales).

4. Medición de frecuencias de las variables observadas.

Para realizar la medición de las variables se utilizó la escala de Likert con una ponderación de 5 (Totalmente de acuerdo) 4 (De acuerdo) 3 (Ni de acuerdo, ni en desacuerdo) 2 (En desacuerdo) 1 (Totalmente en desacuerdo).

Se midió la frecuencia de las respuestas de cada variable, de la cual se desprende la cuantificación de respuesta de los estudiantes de los tres grupos piloto, observándose los siguientes datos:

VARIABLE IO				VARIABLE AF			
RANGO	NIVEL	FRECUENCIA	PORCENTAJE	RANGO	NIVEL	FRECUENCIA	PORCENTAJE
7 - 15	Bajo	0	0%	6 - 15	Bajo	0	0%
16-25	Medio	23	32%	16 - 25	Medio	22	30%
26-35	Alto	50	68%	26- 30	Alto	51	70%
Total		73	100%	Total		73	100%

VARIABLE DS				VARIABLE CE			
RANGO	NIVEL	FRECUENCIA	PORCENTAJE	RANGO	NIVEL	FRECUENCIA	PORCENTAJE
6 - 15	Bajo	1	1%	6 - 15	Bajo	0	0%
16 - 25	Medio	51	70%	16 - 25	Medio	56	77%
26- 30	Alto	21	29%	26- 30	Alto	17	23%
Total		73	100%	Total		73	100%

Tabla 1 Rangos de las variables observadas.

5. Análisis de brechas (Diagnóstico 1)

Se utilizó el software estadístico denominado SPSS para la codificación de los resultados, lo cual permitió realizar un análisis de brechas para hacer la comparación entre los valores percibidos y los valores deseados, los resultados se muestran a continuación.

Diagnóstico 1					
Competencias		Valor percibido		Valor esperado	Brecha
		promedio	Desviación estandar	promedio	
Identificar oportunidades	IO1	3.890410959	0.698443584	5	1.10958904
	IO2	4.150684932	0.569386436	5	0.84931507
	IO3	4.109589041	0.678266666	5	0.89041096
	IO4	3.876712329	0.798352566	5	1.12328767
	IO5	4.178082192	0.673763595	5	0.82191781
	IO6	3.397260274	0.877808604	5	1.60273973
	IO7	3.767123288	0.773170743	5	1.23287671
Desarrollo de soluciones	DS1	3.95890411	0.806886268	5	1.04109589
	DS2	3.643835616	0.733520109	5	1.35616438
	DS3	3.863013699	0.673198594	5	1.13698630
	DS4	4.328767123	0.708182229	5	0.67123288
	DS5	4	0.816496581	5	1.00000000
	DS6	3.95890411	0.888793754	5	1.04109589
Aprender del fracaso	AF1	4.410958904	0.619937641	5	0.58904110
	AF2	4.493150685	0.603767976	5	0.50684932
	AF3	4.438356164	0.577020637	5	0.56164384
	AF4	4.597222222	0.521636704	5	0.40277778
	AF5	4.287671233	0.676581523	5	0.71232877
	AF6	4.287671233	0.588771132	5	0.71232877
Conciencia sobre su emprendimiento	CE1	3.98630137	0.65602233	5	1.01369863
	CE2	3.890410959	0.718053771	5	1.10958904
	CE3	3.479452055	1.001520913	5	1.52054795
	CE4	3.847222222	0.705306291	5	1.15277778
	CE5	4.04109589	0.753480004	5	0.95890411
	CE6	4.068493151	0.732741563	5	0.93150685

Tabla 2 Análisis de brechas de competencias y subcompetencias emprendedoras (Diagnóstico 1).

Para su análisis y representación gráfica se obtuvo el promedio de las subcompetencias agrupadas por dimensiones arrojando los siguientes resultados:

Diagnóstico 1				
Competencias	Valor Percibido		Valor Esperado	
	Promedio	Desviación estandar	Promedio	Brecha
IO	3.90998	0.76934	5	1.09002
DS	3.95890	0.79653	5	1.04110
AF	4.41876	0.60648	5	0.58124
CE	3.88558	0.79025	5	1.11442

Tabla 3 Análisis de brechas de las competencias emprendedoras por promedio.

6. Implementación de la plataforma tecnológica en grupos piloto.

Con el objetivo de cerrar las brechas detectadas y fortalecer las competencias emprendedoras de los estudiantes del Instituto Tecnológico de Orizaba; se implementó el uso de la plataforma tecnológica con el curso “Espíritu emprendedor” en tres grupos pilotos compuesto por 40 estudiantes de ingeniería industrial y 33 de ingeniería en sistemas computacionales que cursan desde el 6to. hasta 10mo. Semestre.

El curso se desarrolló en la plataforma Moodle y se diseñó para cursarse en 40 horas distribuidas en 8 semanas durante el semestre Enero/ Junio 2022.

El contenido del programa está integrado por 3 fases a desarrollarse en modalidad on line en la plataforma con dominio <http://www.empretecnm.com/curso/>.

El programa general del curso se puede observar en la figura 1.

Fase 1 Creatividad/Innovación	
Bloque 1 Ser emprendedor	1.1 Que es ser emprendedor 1.2 Perfil de un emprendedor 1.3 Clases de emprendimiento 1.4 ¿Qué es emprender un negocio? 1.5 ¿Qué necesito para emprender un negocio? 1.6 Mitos al iniciar un negocio 1.7 La idea de negocio
Bloque 2 Generando la idea de negocio	2.1 Método del no 2.2 SCAMPER 2.3 Los sombreros de bono 2.4 Mapa de empatía 2.5 Cuadrante de ideas
Fase 2 Visión	
Bloque 3 Elaborando mi modelo de negocio	3.1 The bussines model Canvas 3.2 Segmento de clientes 3.2.1 Canvas Early Adopter 3.2.2 Propuesta de valor. 3.3 Design thinking 3.4 Simulador de negocios
Fase 3 Comunicación que inspira.	
Bloque 4 Pitch de impacto	4.1 Introducción 4.2 Pitch elevator 4.3 Comunicación asertiva.

Figura 1 Programa del curso “Espíritu emprendedor”.

La primera fase “Creatividad /Innovación” tiene como objetivo concientizar al estudiante de sus propias habilidades y valores, e impulsarlo a emprender teniendo plena conciencia de su entorno inmediato. El producto final de esta fase es la generación de ideas de negocio. [5]

La segunda Fase “Visión” es formativa, se otorga a los estudiantes técnicas y herramientas para estimular la creatividad, y se muestran las diferentes metodologías para la creación de modelos de negocio. Se incluye un simulador de negocios que propicia la habilidad para dirigir una empresa que incluye desde el proceso de producción hasta las ventas. [6]

La tercera Fase “Comunicación que inspira”, tiene como objetivo desarrollar en el estudiante la habilidad de la comunicación efectiva y que sea capaz de presentar un pitch de impacto ante rondas de inversionistas o públicos de interés.

Se incluyen en las tres fases lecturas, videos, infografías atractivas además de actividades complementarias y lúdicas como sopas de letras y crucigramas para la evaluación del curso.

7. Aplicación del instrumento (Final)

Una vez terminado el curso se aplicó nuevamente el instrumento de medición para determinar su impacto en el fortalecimiento de las competencias emprendedoras.

8. Análisis de brechas (Diagnóstico 2)

Diagnóstico 2				
	Valor Percibido		Valor Esperado	
		Desviación		
Competencia	Promedio	estandar	Promedio	Brecha
IO	4.1353	0.7243	5	0.8647
DS	4.2511	0.7151	5	0.7489
AF	4.5303	0.5586	5	0.4697
CE	4.1067	0.7463	5	0.8933

Tabla 4 Análisis de brechas de competencias y subcompetencias emprendedoras (Diagnóstico 2).

Con la finalidad de observar si hubo un incremento o decremento en las brechas observadas en las competencias emprendedoras de los estudiantes de los tres grupos piloto después del curso “Espíritu emprendedor”, se realizó un segundo análisis. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en cada una de las competencias y subcompetencias medidas.

Diagnóstico 2					
		Valor percibido		Valor esperado	
Competencias		promedio	Desviación estandar	promedio	Brecha
Identificar oportunidades	IO1	4.10958904	0.69844358	5	0.89041096
	IO2	4.21917808	0.67178401	5	0.78082192
	IO3	4.19178082	0.71990613	5	0.80821918
	IO4	4.12328767	0.78076183	5	0.87671233
	IO5	4.25000000	0.74588071	5	0.75000000
	IO6	3.94520548	0.94119326	5	1.05479452
	IO7	4.10958904	0.63599537	5	0.89041096
Desarrollo de soluciones	DS1	4.30136986	0.73946173	5	0.69863014
	DS2	3.97260274	0.79882905	5	1.02739726
	DS3	4.15068493	0.65978180	5	0.84931507
	DS4	4.52054795	0.60345277	5	0.47945205
	DS5	4.30136986	0.68078654	5	0.69863014
	DS6	4.26027397	0.64608645	5	0.73972603
Aprender del fracaso	AF1	4.63013699	0.48610839	5	0.36986301
	AF2	4.49315068	0.60376798	5	0.50684932
	AF3	4.46575342	0.55483210	5	0.53424658
	AF4	4.60273973	0.52014224	5	0.39726027
	AF5	4.46575342	0.52920779	5	0.53424658
	AF6	4.46575342	0.57932412	5	0.53424658
Conciencia sobre su emprendimiento	CE1	4.21917808	0.60659742	5	0.78082192
	CE2	4.06944444	0.69861813	5	0.93055556
	CE3	4.08219178	0.82921356	5	0.91780822
	CE4	4.04109589	0.71566512	5	0.95890411
	CE5	4.19444444	0.74377963	5	0.80555556
	CE6	4.27397260	0.65107334	5	0.72602740

Tabla 5 Análisis de brechas de las competencias emprendedoras por promedio. (Diagnóstico 2).

Resultados.

Para poder evaluar el impacto de la implementación de la plataforma con el curso “Espíritu emprendedor” en los grupos piloto se realizó un análisis comparativo entre el primer y segundo diagnóstico de las competencias antes y después del desarrollo del curso, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

VARIABLE IO			
RANGO	NIVEL	FRECUENCIA	PORCENTAJE
7 - 15	Bajo	0	0%
16-25	Medio	23	32%
26-35	Alto	50	68%
Total		73	100%

VARIABLE DS			
RANGO	NIVEL	FRECUENCIA	PORCENTAJE
6 - 15	Bajo	1	1%
16 - 25	Medio	51	70%
26- 30	Alto	21	29%
Total		73	100%

VARIABLE AF			
RANGO	NIVEL	FRECUENCIA	PORCENTAJE
6 - 15	Bajo	0	0%
16 - 25	Medio	22	30%
26- 30	Alto	51	70%
Total		73	100%

VARIABLE CE			
RANGO	NIVEL	FRECUENCIA	PORCENTAJE
6 - 15	Bajo	0	0%
16 - 25	Medio	56	77%
26- 30	Alto	17	23%
Total		73	100%

Tabla 6 Tabla comparativa de los rangos de las variables observadas antes y después del curso “Espíritu emprendedor”.

Diagnóstico 1					Diagnóstico 2				
Competencias	Valor Percibido		Valor Esperado		Competencias	Valor Percibido		Valor Esperado	
	promedio	Desviación estandar	promedio	Brecha		promedio	Desviación estandar	promedio	Brecha
IO	3.910	0.769	5.000	1.090	IO	4.135	0.724	5.000	0.865
DS	3.959	8.861	5.000	1.041	DS	4.251	0.715	5.000	0.749
AF	4.419	7.372	5.000	0.581	AF	4.530	0.559	5.000	0.470
CE	3.886	8.479	5.000	1.114	CE	4.107	0.746	5.000	0.893

Tabla 7 Tabla comparativa de los análisis de brechas antes y después del curso “Espíritu emprendedor”.

Como se observa en la tabla 6, los rangos de los niveles de cada una de las variables, y sus frecuencias determinaron el porcentaje de fortalecimiento de las competencias y subcompetencias emprendedoras.

Se observó que la variable de mayor a menor grado de importancia fue la variable “Identificar oportunidades” (IO) en la muestra estudiada se encuentra situada en un nivel alto, después del curso “Espíritu emprendedor” dicha frecuencia aumentó del 68 % al 82%.

En cuanto a la competencia “Desarrollo de soluciones” (DS) La mayor frecuencia también se encuentra en el nivel alto (25-35) ésta variable se incrementó de 29% a 62%, lo que significa que es la competencia que obtuvo el mayor grado de fortalecimiento después del curso, desarrollando subcompetencias tales como creatividad, innovación, iniciativa y planeación estratégica.

En cuanto a la variable “Aprender del fracaso” las competencias de los estudiantes se colocaron en un nivel de competencia alto después del curso lo que significa que el porcentaje aumento del 70% AL 81% reforzando las competencias relativas a la capacidad de resiliencia, asumir riesgos y autoconfianza.

En cuanto a la variable “Conciencia sobre su emprendimiento” antes y después del curso es la variable con menor porcentaje en el nivel alto con un 36% mientras que el 64% ocupa un nivel medio. Se observa un incremento del 23% al 36 % después del curso.

Es decir que “Conciencia sobre su emprendimiento” es la competencia que presenta menor desarrollo entre los estudiantes del Instituto Tecnológico de Orizaba, por lo que, para cerrar la brecha de competencias tales como autoconfianza, resiliencia, tolerancia a la frustración, y generar soluciones; habría que incluir en una planeación estratégica la sensibilización y capacitación necesarias para transformar a los estudiantes en agentes de cambio, con un alto nivel de compromiso, sensibles a su entorno y socialmente responsables.

Los resultados obtenidos demuestran que la implementación de la plataforma tecnológica con el curso “Espíritu emprendedor logró reforzar competencias tales como: capacidad para tomar decisiones, observación para identificar y analizar las oportunidades del entorno, proactividad, pensamiento crítico y la solución de conflictos

Trabajo a futuro

Para cerrar la brecha que aún existe en las competencias emprendedoras se recomienda realizar una planeación estratégica que incluya:

- Diseño de nuevas capacitaciones y actividades presenciales para los estudiantes.
- Implementación de dichas capacitaciones para los estudiantes a partir de los primeros semestres con la finalidad de reforzar las competencias en los sucesivos semestres.
- Capacitación al personal docente para la impartición de cursos y talleres que promuevan el espíritu emprendedor.
- Generación de nuevas líneas de investigación en torno al ecosistema emprendedor del TecNM.

Conclusiones

- Se logró reducir la brecha en cada una de las competencias y subcompetencias emprendedoras después de implementar el curso espíritu emprendedor. En la competencia “Identificación de oportunidades” se redujo .225 puntos; la competencia “Desarrollo de Soluciones” se redujo .292 puntos en tanto que “Aprender del fracaso” tuvo un decremento de .111 puntos y la competencia “Conciencia sobre su emprendimiento” tuvo una diferencia de .221 puntos.
- A pesar de que se minimizaron las brechas aún no se alcanzó el valor óptimo cuya puntuación deseada es de 5 en cada una de las variables.
- La competencia que observó un mayor desarrollo después del curso fue “Desarrollo de soluciones” que pasó del 29% al 62% en el nivel alto logrando con ello fortalecer subcompetencias tales como creatividad, innovación, iniciativa y planeación estratégica.
- La competencia que requiere mayor énfasis y atención es “Conciencia sobre su emprendimiento” ya que es la variable con menor frecuencia en un nivel de desarrollo alto y la que presentó menor incremento después del curso pasando del 23% al 36% presentando un área de oportunidad para el desarrollo de la misma.
- La competencia “Identificación de oportunidades” es la variable que presentó la mayor frecuencia en el nivel alto con el 82% seguida de la competencia “Aprender del fracaso” con el 81% lo que significa que son las competencias con mayor presencia y desarrollo en los estudiantes del Instituto Tecnológico de Orizaba.
- Finalmente, la plataforma tecnológica empretecnm.com; enfocada al fortalecimiento de las competencias emprendedoras de los estudiantes del TecNM/ITO tuvo un impacto positivo en el desarrollo de las mismas ya que hubo un incremento visible en los resultados obtenidos después de su implementación.

Referencias

- [1] Global Report (2020-2021) Global Entrepreneurship Monitor *Opportunity Amid Disruption* BABSON COLLEGE.
- [2] Fernández, E. (2019) *Presentación del Informe de Autoevaluación de Gestión 2019*. TecNM
- [3] Guillén E., Jiménez M., Szalai L., Caballero G., Alcaraz R., (2019) *Diseño y validación inicial de un instrumento de medición de la competencia emprendedora sobre su tratamiento y comunicación en las aulas universitarias*. Universidad Ces Don Bosco (Universidad Complutense de Madrid)
- [4] Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 (2019) Diario Oficial de la Federación.
- [5] Alcaraz R. (2013) *Perfil del emprendedor, un estudio comparativo entre estudiantes de países de Iberoamérica* ITESM
- [6] Pellicer C. & a Batet M. (2017) *Pedagogías ágiles para el emprendimiento* Aula Planeta

Desempeño de las Mypes ante la contingencia sanitaria por Covid- 19 en H. Matamoros, Tamaulipas.

N.A. Lozoya Jiménez^{1*}, C.G. Ocegueda Mercado², M.A. Medina Álvarez³, E. L. Contreras Ocegueda⁴,
¹Instituto Tecnológico de Matamoros: M20261186@matamoros.tecnm.mx, ²Instituto Tecnológico de Matamoros: corina.om@matamoros.tecnm.mx, ³Instituto Tecnológico de Matamoros: miguel.ma@matamoros.tecnm.mx, ⁴Instituto Tecnológico de Matamoros erandic.benton@gmail.com

Área de participación: Ingeniería administrativa.

Resumen

Esta investigación es realizada con el fin de determinar el desempeño de las Mypes de H. Matamoros, Tamaulipas ante la contingencia sanitaria por Covid -19. La investigación es de tipo no experimental, cuantitativa, descriptiva-comparativa, transversal y de campo. Se aplicó un cuestionario a 728 empresas que cuentan con entre 2 a 50 empleados en el año 2021 y posteriormente se aplicó un cuestionario complementario para realizar un análisis y contraste durante el primer trimestre del año 2022. Los resultados demuestran que hubo una disminución del desempeño en el 32.94% de las Mypes durante el año 2021 y en el 62.2% respectivamente durante el 2022.

Palabras clave: Mypes, Desempeño, Covid -19.

Abstract

This research is carried out in order to determine the performance of the MSE's of H. Matamoros, Tamaulipas in the face of the health contingency by Covid -19. The research is non-experimental, quantitative, descriptive-comparative, cross-sectional and field. A questionnaire was applied to 728 companies that have between 2 and 50 employees in the year 2021 and later a complementary questionnaire was applied to carry out an analysis and contrast during the first quarter of the year 2022. The results show that there was a decrease in performance in 32.94% of MSE's during the year 2021 and 62.2% respectively during 2022.

Key words: MSE's, Performance, Covid -19.

Introducción

De acuerdo a la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OECD), las Mypes son todas las empresas que tienen entre 2 y 50 empleados. En México, tales empresas han ido tomando presencia en los últimos años, específicamente desde principios de los años 2000 debido al constante trabajo para conformar políticas de apoyos que el gobierno está proporcionando.[1]

El desempeño de una empresa es considerado como la capacidad que tiene para enfrentar los desafíos que se le presentan. Por esto, la medición del desempeño organizacional ha cobrado gran importancia en la actualidad debido a la fuerte competencia existente en la que las organizaciones deben estar evaluando el cumplimiento de sus objetivos constantemente para una mejor toma de decisiones.

Sánchez y De la Garza proponen que para medir el desempeño organizacional de las empresas existen 2 dimensiones principales y en estas se enfatiza cómo se desarrolla internamente la organización, así como su posición en su ambiente de competencia. Estas 2 dimensiones son la operación del mercado y el rendimiento.[2] Sin embargo, Barradas sugiere que el desempeño sea medido a partir de diferentes variables ya sean financieras o no financieras como por ejemplo la eficacia, la eficiencia, la puntualidad, la productividad y la seguridad.[3]

La contingencia sanitaria por Covid -19 ha afectado al mundo entero, llegó a México en el mes de Marzo del año 2020 y ha provocado que el gobierno tome medidas estrictas de distanciamiento social para combatir esta enfermedad. Las estrategias implementadas han generado grandes afectaciones en el sector económico, principalmente entre las Mypes debido a que algunas de ellas tuvieron que cerrar temporalmente por ser consideradas no esenciales, además de que hubo un drástico descenso en la demanda de productos y servicios ocasionado por el miedo existente entre la población a ser contagiados al salir a las calles.

Debido a lo anterior, muchas de las Mypes de la ciudad de H. Matamoros, Tamaulipas han sufrido grandes pérdidas económicas e incluso han tenido la necesidad de cerrar operaciones de manera definitiva. En el estudio de Kleber Luna, se menciona que es el desconocimiento tecnológico uno de los principales problemas a los que se enfrentan los administradores en los momentos críticos.[4]

Por el contrario, otras organizaciones han elegido implementar estrategias empresariales para adaptarse a una nueva normalidad, no solo sobrellevando la situación, sino buscando áreas de oportunidad que permitan tomar ventaja ante la competencia.

Metodología

Esta investigación es desarrollada con un enfoque no experimental, cuantitativo, descriptivo-comparativo, transversal y de campo, con el objetivo de determinar el desempeño obtenido de las Mypes de H. Matamoros, Tamaulipas ante la llegada de la contingencia sanitaria por Covid -19. Para la obtención de datos se diseñó un cuestionario en base al instrumento desarrollado en el 2021 por la Red de Estudios Latinoamericanos de Administración y Negocios (RELAYN) del cual se tomaron 5 preguntas relevantes de su primera sección. En la Tabla 1 se presentan las preguntas recopiladas.

Tabla 1. Cuestionario de desempeño 2021

Desempeño de Mypes					
	Aumentaron mucho	Aumentaron algo	Siguieron igual	Disminuyeron algo	Disminuyeron mucho
Ventas anuales	-	-	-	-	-
Horas semanales trabajadas	-	-	-	-	-
Número de empleados	-	-	-	-	-
Ingresos personales	-	-	-	-	-
Nivel de vida	-	-	-	-	-

Variable = Desempeño de Mypes.

Indicadores = Ventas anuales, horas semanales trabajadas, número de empleados, ingresos personales, nivel de vida.

Para llevar a cabo las encuestas, durante los meses de febrero y marzo del 2021 se contactaron directores de Mypes en la localidad Heroica Matamoros del estado de Tamaulipas través de redes sociales, vía telefónica y de manera presencial. De acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) en esta localidad existe una población de 20,826 Mypes de las cuales se tomó una muestra de 728 empresas para la recolección de datos.[5] Para validar el instrumento se realizó una prueba de fiabilidad de Alfa de Cronbach en el programa estadístico SPSS el cual arrojó un resultado de 0.872 como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Prueba de confiabilidad de Alfa de Cronbach

Estadísticas de fiabilidad		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizados	N de elementos
0.872	0.871	5

Con el objetivo de comparar el desempeño de las Mypes obtenido durante el año 2021, en el primer trimestre del año 2022 se elaboró un cuestionario complementario tomando como base la encuesta sobre el impacto económico generado por Covid-19 en las empresas elaborado por el INEGI, del cual se tomaron las 3 preguntas correspondientes al desempeño de las Mypes.[6] En la tabla 2 se muestran las preguntas correspondientes al cuestionario complementario.

Tabla 3. Cuestionario complementario 2022

Desempeño de Mypes		
	Si	No
Disminución de ventas anuales	-	-
Reducción de personal	-	-
Disminución de Ingresos	-	-

Durante los meses febrero y marzo del año 2022 al igual que con el primer instrumento, se contactó a directores de las Mypes de la ciudad de Heroica Matamoros tomando una muestra de 30 de ellas.

Resultados y discusión

Primeros resultados

Los resultados de la encuesta realizada durante los meses de febrero y marzo del 2021 fueron los siguientes:

Tabla 4. Resultados de cuestionario 2021

Desempeño organizacional		
	Respuesta	Porcentaje
Ventas anuales	Disminuyeron algo	32.6%
	Aumentaron algo	22.7%
	Siguieron igual	19.4%
	Disminuyeron mucho	14.1%
	Aumentaron mucho	11.3%
Horas a la semana	Siguieron igual	43.5%
	Disminuyeron algo	25.1%
	Aumentaron algo	15.5%
	Disminuyeron mucho	8.7%
	Aumentaron mucho	7.1%
Número de empleados	Siguieron igual	67.9%
	Disminuyeron algo	13.9%
	Aumentaron algo	10.0%
	Disminuyeron mucho	4.7%
	Aumentaron mucho	3.6%
Ingresos personales	Disminuyeron algo	32.3%
	Aumentaron algo	23.2%
	Siguieron igual	21.7%
	Disminuyeron mucho	12.8%
	Aumentaron mucho	10.0%
Nivel de vida	Siguieron igual	41.8%
	Aumentaron algo	24.9%
	Disminuyeron algo	17.6%
	Aumentaron mucho	12.9%
	Disminuyeron mucho	2.9%

En base a la tabla anterior y con el objetivo de simplificar su comprensión, se sintetizaron los resultados sumando los porcentajes de las respuestas “Disminuyeron algo” con “Disminuyeron mucho” y “Aumentaron algo” con “Aumentaron mucho” respectivamente. Una vez simplificados los resultados se determinó que el desempeño disminuyó en el 32.94% de las Mypes de H. Matamoros, Tamaulipas durante la pandemia por Covid-19 en el año 2021, mientras que en el 38.86% de ellas el desempeño siguió igual que antes de la contingencia y por último en el 28.24% de las Mypes aumento su desempeño.

De las 728 Mypes que forman parte la investigación y que fueron encuestadas durante el 2021, el 56.5% se clasifican como empresas formales, mientras que el 43.5% son informales como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 5. Porcentaje de Mypes formales e informales

Tipo de empresa (Formal)			Tipo de empresa (Informal)		
Tipo de empresa	Frecuencia	Porcentaje	Tipo de empresa	Frecuencia	Porcentaje
Persona física con actividad empresarial	164	22.5%	Empresa con un solo dueño sin registro en hacienda	285	39.1%
Está constituida como empresa SA, SRL, etc.	98	13.5%	Empresa con varios dueños sin registro en hacienda	32	4.4%
Régimen de incorporación fiscal.	91	12.5%	N/A	-	-
Servicios profesionales registrados.	58	8.0%	N/A	-	-
Total	411	56.5%	Total	317	43.5%

Con el fin de analizar con mayor profundidad el desempeño de las Mypes durante la contingencia sanitaria, se efectuó una comparación entre el desempeño obtenido por las empresas formales que cuentan con un registro en la Secretaría de Hacienda y el de las empresas informales que no cuentan con un registro. Los resultados de esta comparación son los que se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 6. Desempeño en Mypes formales e informales 2021

Desempeño Mypes formales			Desempeño Mypes informales		
	Respuesta	Porcentaje		Respuesta	Porcentaje
Ventas anuales	Disminuyeron algo	33.3%	Ventas anuales	Disminuyeron algo	31.5%
	Aumentaron algo	22.6%		Aumentaron algo	22.7%
	Siguieron igual	18.2%		Siguieron igual	20.8%
	Disminuyeron mucho	14.8%		Disminuyeron mucho	13.2%
	Aumentaron mucho	10.9%		Aumentaron mucho	11.7%
Horas a la semana	Siguieron igual	45.0%	Horas a la semana	Siguieron igual	41.6%
	Disminuyeron algo	25.8%		Disminuyeron algo	24.3%
	Aumentaron algo	15.1%		Aumentaron algo	16.1%
	Disminuyeron mucho	7.1%		Disminuyeron mucho	10.7%
	Aumentaron mucho	7.1%		Aumentaron mucho	7.3%
Número de empleados	Siguieron igual	63.3%	Número de empleados	Siguieron igual	73.8%
	Disminuyeron algo	15.8%		Disminuyeron algo	11.4%
	Aumentaron algo	10.7%		Aumentaron algo	9.1%
	Disminuyeron mucho	5.1%		Disminuyeron mucho	4.1%
	Aumentaron mucho	5.1%		Aumentaron mucho	1.6%

Ingresos personales	Disminuyeron algo Siguieron igual Aumentaron algo Disminuyeron mucho Aumentaron mucho	33.3% 23.4% 20.7% 12.7% 10.0%	Ingresos personales	Disminuyeron algo Aumentaron algo Siguieron igual Disminuyeron mucho Aumentaron mucho	30.9% 26.5% 19.6% 12.9% 10.1%
Nivel de vida	Siguieron igual Aumentaron algo Disminuyeron algo Aumentaron mucho Disminuyeron mucho	42.8% 25.8% 17.0% 11.4% 2.9%	Nivel de vida	Siguieron igual Aumentaron algo Disminuyeron algo Aumentaron mucho Disminuyeron mucho	40.4% 23.7% 18.3% 14.8% 2.8%

Al igual que en la Tabla 4 se sintetizaron los resultados uniendo los porcentajes de “Aumentaron algo” con “Aumentaron mucho” y de “Disminuyeron algo” con “Disminuyeron mucho” respectivamente para determinar la disminución o aumento en el desempeño de las Mypes encuestadas. Resultado de esta síntesis se obtuvo que hubo una disminución del desempeño en el 33.56%, de las empresas formales, un aumento en el 27.88% y un 38.54% de ellas no tuvieron afectación en su desempeño con la llegada de la contingencia sanitaria. En contraparte, hubo una disminución del desempeño en el 32.05% de las empresas informales, un aumento en el 28.71% y 39.24% de ellas no tuvo afectación alguna en su desempeño.

Por lo tanto, se puede entender que no existe una diferencia significativa en las afectaciones del desempeño entre las Mypes formales e informales de H. Matamoros, Tamaulipas a causa de la pandemia por Covid -19 durante el 2021.

Segundos resultados

Al aplicar un segundo cuestionario durante el primer trimestre del año 2022 se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 7. Resultados cuestionario complementario 2022

Desempeño organizacional 2022		
	Respuestas	Porcentajes
Disminución de ventas anuales	Si	53.3%
	No	46.7%
Reducción de personal	Si	70%
	No	30%
Disminución de ingresos	Si	63.3%
	No	36.7%

Durante el año 2022 han comenzado a ser visibles los estragos que ha dejado a lo largo de este tiempo la pandemia por Covid -19 ya que de acuerdo con el cuestionario complementario, el 62.2% de las Mypes han tenido una disminución de su desempeño.

Trabajo a futuro

Esta investigación en la búsqueda del desempeño de las Mypes ante la llegada de la enfermedad Covid -19 cuenta con muchas áreas de oportunidad que se pueden explorar. Una recomendación para futuras investigaciones es indagar acerca del desempeño de las empresas de acuerdo a su sector económico, su capacidad tecnológica y las competencias administrativas de los directores. Para una investigación más profunda se podría buscar una correlación entre las estrategias empresariales implementadas por las Mypes y su desempeño.

Conclusiones

Al término de esta investigación se puede concluir que las dificultades comerciales, sociales y de salubridad ocasionadas por la enfermedad Covid -19 no han afectado en el desempeño de las Mypes de manera inmediata como se podría pensar, sino que, estas se han ido presentando con el paso del tiempo debido a que los directores de estas empresas han comenzado a experimentar la falta de liquidez debido a la gran disminución de la demanda de productos y servicios durante el 2021, por lo que han tenido la necesidad de reducir gastos optando así por la reducción de personal, cierres temporales o incluso cierres definitivos.

Por ello, es recomendable una buena administración de los recursos y un plan estratégico de resiliencia para adaptarse a esta nueva normalidad y poder afrontar esta crisis sin precedentes.

Agradecimientos

Quiero agradecer el Instituto Tecnológico de Matamoros, por brindarme siempre las herramientas necesarias para seguir desarrollándome profesional y académicamente Al Conacyt porque sin el apoyo de la beca no hubiera sido posible terminar la maestría.

Referencias

- [1] OECD, "Apoyando el desarrollo de las PYMES en América Latina y el Caribe", 2019. <http://www.oecd.org/latin-america/programa-regional/productividad/desarrollo-de-las-pymes/?q=pymes+mexico> (consultado dic. 13, 2020).
- [2] M. Sánchez y M. De la Garza, "Tecnologías de información y desempeño organizacional de las pymes del noreste de México", *Rev. Venez. Gerenc.*, vol. 23, núm. 82, pp. 298–313, 2018, doi: 10.37960/revista.v23i82.23750.
- [3] R. Barradas, J. Rodríguez, y I. Espinoza, "Desempeño organizacional. Una revisión teórica de sus dimensiones y forma de medición", *Rev. Estud. en Contaduría, Adm. e Informática*, vol. 28, pp. 21–40, 2021, [En línea]. Disponible en: <https://recai.uaemex.mx>.
- [4] K. A. Luna, M. E. Garcia, K. G. Suquilanda, y D. E. Andrade, "Plan estratégico de sustentabilidad de las pymes industriales en momentos de emergencia", *Polo del Conoc.*, vol. 5, núm. 05, pp. 116–139, 2020, doi: 10.23857/pc.v5i5.1406.
- [5] DENU, "Directorio Estadístico Nacional de Unidades Economicas.", 2020. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>.
- [6] INEGI, "Encuesta sobre el Impacto Económico Generado por COVID-19 en las Empresas (ECOVID-IE)", 2021. <https://www.inegi.org.mx/programas/ecovidie/> (consultado ago. 09, 2022).

Análisis descriptivo de los factores asociados a la capacitación de los servidores públicos municipales

Contreras-Huerta, Sandra Patricia¹; Morales-Carrera, Uriel Alejandro²; Castillo-Cedillo, Pedro³; González-Pérez, Manuel⁴

¹Doctorante del Colegio Interdisciplinario de Especialización A.C., spchuerta@gmail.com; ²Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Uriel_ige@zongolica.tecnm.mx; ³Colegio Interdisciplinario de Especialización A.C., pedro.castillo@colegiointer.edu.mx; ⁴Colegio Interdisciplinario de Especialización A.C., manuel.gonzalez@upaep.mx

Área de participación: Ingeniería administrativa

Resumen

Los procesos de formación y educación en una empresa pública o privada son obligatorios. Sin embargo, no todos asumen la formación como un proceso de superación; se ven a sí mismos como sujetos completos que no necesita fortalecer más sus habilidades y conocimientos. Si bien hay factores que influyen en el éxito de la capacitación, también es fundamental identificar los factores que podrían afectar si quieren o no mejorar. El trabajo es descriptivo, y con un enfoque cuantitativo, se aplicó un cuestionario a 74 servidores públicos. Como resultado, encontramos que, aunque se sienten respaldados por la administración, no sienten que pueda haber un crecimiento dentro del organismo público.

Palabras clave: Capacitación, servidores públicos, análisis descriptivo

Abstract

The training and education processes in a public or private company are mandatory. However, not everyone takes training as a process of improvement; they see themselves as people complete who does not need further strengthening of their skills and knowledge. While there are factors that influence the success of the training, it is also essential to identify the factors that could affect whether they want to improve. The work is descriptive, and with a quantitative approach, a questionnaire was applied to 74 public servants. As a result, we find that although they feel supported by the administration, they do not feel that there can be growth within the public body.

Key words: Training, public servants, descriptive analysis

Introducción

Una empresa es una entidad en donde intervienen el trabajo y el capital, éstas son clasificadas por el tamaño, por el sector económico, por el tipo de propiedad, entre otras. Para su eficiente funcionamiento la empresa, debe clasificar las principales funciones en áreas o departamentos, y generar una estructura para su coordinación y gestión. La responsabilidad de directivos y del personal son importantes, es necesario el que personal tenga las competencias idóneas para incorporarlas a sus funciones, y de forma compartida la búsqueda del desarrollo organizacional [1]. Unos de los factores que contribuyen al mejoramiento de la productividad y eficiencia es el desarrollo profesional y una correcta estructura organizacional ya que permiten tener sus funciones claras [2].

En la clasificación de empresas por tipo de propiedad se encuentran las públicas y privadas, la diferencia no radica sólo es por el propietario, también en el propósito y su administración. Para las empresas privadas existe el artículo 153-A de la ley federal de trabajo, en donde se indica la obligación del patron a proporcionar capacitación o adiestramiento, para la públicas la ley del servicio profesional de carrera en la administración pública; la ley federal de responsabilidades administrativas de los servidores públicos.

Con base a las atribuciones y obligaciones que la legislación mexicana señalan a la administración municipal, en la Ley número 9 Orgánica del Municipio Libre [3], brindar capacitación al capital humano (artículo 35, fracciones XVIII y XIX en conjunto con los numerales 47 fracción IX, 58 fracción VIII, 60 Quáter fracción IV, 60 Septies fracción III, 60 Terdecies, fracción II, 73 Decies, fracción VIII, 73 Novodecies fracción IV, 81 Bis fracciones I y X, 188 párrafos Primero y Segundo), trabajando así en la gestión del conocimiento.

Existen algunas empresas públicas en México en donde existe un seguimiento de su productividad y eficiencia, como es la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Petroleos Mexicanos (PEMEX), sin embargo el servicio

público municipal no siempre es observado, si bien actualmente tiene la obligación de ser transparente en sus finanzas, no es posible identificar si sus decisiones son adecuadas en otros ejes, como la formación del capital humano en el servicio público.

En las instituciones públicas de educación básica y superior se trabaja con sistemas de competencias, sin embargo, las empresas de servicio público, tienen algunas personal con una larga trayectoria dentro del servicio municipal, pero su capacitación no se actualizó en la formación de competencias dentro del organismo de servicio público. En Veracruz se desarrollo un trabajo orientado a la identificación de competencias en entidades públicas en donde concentraron las diferentes competencias con las que deberían contar [4].

Por otro lado, el identificar que competencias deben desarrollar, no es el único factor que contribuye a una eficaz capacitación, existen otros factores asociados a la capacitación que es necesario identificar y describir.

El aparato gubernamental de primer contacto con la población mexicana es la administración pública municipal; partiendo que desde la legislación nacional se generan en forma continua políticas públicas en respuesta a las problemáticas que retrasan el desarrollo social mexicano, se busca profundizar en los aspectos que influyen en la capacitación de los servidores públicos del municipio de Fortín, Veracruz.

Metodología

Desarrollo

El enfoque del estudio es cuantitativo con un análisis descriptivo, de igual forma es transversal porque es aplicada en una unidad de tiempo. El estudio se llevó a cabo en tres etapas: 1) Diseño del instrumento de recolección; 2) Validación del instrumento; 3) Análisis descriptivo de los factores asociados a la capacitación de los servidores públicos, en el municipio de Fortín.

Diseño del instrumento

El capacitar consiste en hacer a alguien apto, es decir que sea idóneo o hábil para hacer algo. Generalmente la capacitación está orientada a la adquisición de conocimientos y habilidades cognitivas, cuando son físicas se le llama adiestramiento, para este estudio, se trabajará sólo con habilidades cognitivas.

La capacitación requiere de diferentes aspectos para lograrse, se pueden dividir en dos grupos, en factores internos y externos, los factores internos son los criterios propios de la persona a capacitarse y los factores externos se orientan a los factores de infraestructura para lograrse. En el cuadro uno se presentan los factores internos y externos a evaluar con la finalidad de identificar qué factores son los que más impactan.

Cuadro 1 Factores que internos y externos de la capacitación.

Factores	Variables	No. Items	Tipo de variables
Internos	Actualización	6	Dicotómica
	Capacitación (Percepción)	13	Dicotómica
	Contrato psicológico	4	Dicotómica
	Forma de aprender	5	Dicotómica
	Pertenencia	4	Dicotómica
Externos	Capacitación (Condiciones)	7	Dicotómica
	Capacitación (Programación)	7	Dicotómica
	Comunicación	2	Dicotómica
	División de trabajo	8	Dicotómica
	Normativa	12	Dicotómica
	Perfil	8	Dicotómica

Población y muestreo

Se utilizó el muestreo probabilístico por proporción finita [5] ecuación 1. El nivel de confianza utilizado fue de 90%.

$$n = \frac{NZ^2 pq}{(N-1)E^2 + Z^2 pq} =$$

Ecuación 1 Cálculo de tamaño de muestra por proporción finita.

N = población
 Z= valor de distribución (nivel de confianza 90%)
 P= valor de probabilidad positiva
 Q= p-1
 E= error (10%)

El tamaño de la muestra calculado es de 74 empleados, donde el tamaño de la población fue de 294.

Instrumento

Para colecta de información se usó un cuestionario con 77 ítems, organizado por competencias, en el cuadro dos se presentan los ítems que fueron aplicados con preguntas dicotómicas.

Cuadro 2 Preguntas utilizadas en el instrumento

Actualización	Capacitación externa Auto-capacitación Veo la capacitación como un valor añadido La capacitación mejorara mis habilidades La capacitación mejorara mis actitudes Estudio los reglamentos municipales
Capacitación (Condiciones)	Se cuenta con un espacio para la capacitación Se cuenta con un área climatizada para la capacitación Se cuenta con el mobiliario para leer y escribir cómodamente Hay tecnología exclusiva para la capacitación Se cuenta con la iluminación para la capacitación Me proporcionan lo necesario para el aprendizaje del curso Me proporcionan material de lectura y apoyo
Capacitación (Percepción)	Recibo capacitación de gobierno federal Puntualidad de los expositores Personal externo para capacitar Las capacitaciones deben tener valor curricular Recibo capacitación específica a mi labor Hay un clima de seguridad y tranquilidad en las sesiones de capacitación El expositor resuelve mis dudas La capacitación que recibo no es aplicable a mi puesto Me gusta el horario de capacitación Me gusta el lugar donde me capacitación Considero que servidores públicos municipales me pueden capacitar Nos capacita una persona que utiliza herramientas pedagógicas Recibo capacitación de gobierno estatal
Capacitación (Programación)	Se calendariza la capacitación Se respeta el horario establecido de capacitación Existe una alineación de conocimientos individuales y colectivos por áreas La alineación es también con los objetivos y metas de la administración municipal Recibí capacitación directa de mi superior Se nos capacita en las obligaciones del servidor público Recibo fecha y horario de la capacitación en tiempo
Comunicación	Tengo comunicación con mi superior La comunicación con titulares de áreas y jefaturas existe
Contrato psicológico	Mi vida laboral está en equilibrio con mi vida familiar Me siento respetado en el trabajo Mi salario corresponde a las actividades que realizo Recibo prestaciones laborales
División de trabajo	Manejo la computadora por lo menos tres veces a la semana Hago menos de lo que mi puesto solicita Hay demasiados jefes

	Se me contrató por mis conocimientos previos Se evalúa mi desempeño Hay pocos jefes Hago más de lo que corresponde a mi puesto Los mandos medios ven la capacitación como un valor añadido
Forma de aprender	Aprendo mejor en aula, en forma presencial Aprendo mejor virtualmente Aprendo mejor leyendo Aprendo más rápido realizando Me incomoda preguntar en grupo
Normativa	Recibo capacitación permanente Recibí formación en los últimos seis meses Conozco las normas y procedimientos de las actividades que realizo En mi puesto se puede ascender o recibir promociones Conozco el objetivo general de nuestro servicio Conozco los manuales y códigos de la administración municipal Recibí entrenamiento respecto de mis obligaciones en los últimos seis meses La administración reconoce la importancia de la capacitación La administración trabaja en la gestión del conocimiento Hay un costo público si no me capacito permanentemente Realice un curso introductorio a mi puesto Este programa (escala para nivelar) predispone a nuevas actitudes, habilidades y conocimientos
Perfil	Tengo disposición para aprender La capacitación trae beneficios a la administración Mi profesión coincide con mi labor diaria Mi formación laboral me sirve en mis labores diarias Soy hábil en el puesto que ejecuto Uso mis cualidades en el trabajo Considero importante la capacitación Tengo conocimiento de los flujos de trabajo
Pertenencia	Estoy en un gran equipo de trabajo Existe una escala de progreso profesional Somos un equipo de trabajo Tengo respaldo en mi labor

Validación del instrumento

Para validar el instrumento se aplicó el método de confiabilidad de consistencia interna de Kuder y Richardson [6], este método se aplica en ítems dicotómicos. El grado de confiabilidad fue alto con una puntuación de 0.95 véase la ecuación 2.

$$r_{tt} = \frac{n}{n-1} * \frac{s_t^2 - \sum s_t^2}{S^2}$$

Ecuación 2 Confiabilidad de consistencia interna K-20

r = coeficiente de confiabilidad

n = número de ítem

S² = varianza total de la prueba

∑S² = es la suma de las varianzas individuales de los ítems.

Resultados y discusión

En el cuadro tres se presentan los resultados del análisis descriptivo para los factores intrínsecos, la actualización se concibe como algo que les ayuda a mejorar sus habilidades y actitudes, además de agregar valor a sus actividades, sin embargo, son pocos los que tienen procesos de autocapacitación.

En cuanto a la percepción de la capacitación se puede observar que aproximadamente el 45% considera que la capacitación no es aplicable a su puesto o a su labor, sin embargo, se considera que las capacitaciones si deben tener valor curricular, esto tiene coherencia con lo antes señalado, el saber que su capacitación tiene valor o influye en su crecimiento los incentiva. Existe una mala percepción acerca de la capacitación federal y estatal, es decir no perciben que sean ellos los que proporcionen este proceso. De igual forma consideran que los expositores no cuentan con las herramientas pedagógicas para dar la capacitación.

Con relación al contrato psicológico consideran que, si hay equilibrio entre sus labores y su vida personal, debido a que se respeta su horario laboral, de mismo se sienten respetados, sin embargo, consideran que su salario y sus prestaciones no corresponden con la actividad que desempeñan.

En cuanto a la forma de aprender hay mayor aceptación de la capacitación presencial que la virtual, consideran que debe existir material de apoyo y que sean más actividades prácticas; por último, en la categoría de pertenencia, si bien se consideran en un buen equipo y se sienten respaldados, consideran que no hay un progreso o un programa para mejorar sus condiciones laborales.

Cuadro 3 Resultados descriptivos de los factores intrínsecos

Variables	Preguntas	Si	No
Actualización	Capacitación externa	49%	51%
	Auto-capacitación	28%	72%
	Veo la capacitación como un valor añadido	81%	19%
	La capacitación mejorara mis habilidades	94%	6%
	La capacitación mejorara mis actitudes	96%	4%
Capacitación (percepción)	Estudio los reglamentos municipales	51%	49%
	Recibo capacitación de gobierno federal	17%	83%
	Puntualidad de los expositores	60%	40%
	Personal externo para capacitar	74%	26%
	Las capacitaciones deben tener valor curricular	89%	11%
	Recibo capacitación específica a mi labor	44%	56%
	Hay un clima de seguridad y tranquilidad en las sesiones de capacitación	61%	39%
	El expositor resuelve mis dudas	63%	38%
	La capacitación que recibo no es aplicable a mi puesto	46%	54%
	Me gusta el horario de capacitación	58%	42%
	Me gusta el lugar donde me capacitación	64%	36%
	Considero que servidores públicos municipales me pueden capacitar	81%	19%
	Nos capacita una persona que utiliza herramientas pedagógicas	33%	67%
Recibo capacitación de gobierno estatal	24%	76%	
Contrato psicológico	Mi vida laboral está en equilibrio con mi vida familiar	93%	7%
	Me siento respetado en el trabajo	92%	8%
	Mi salario corresponde a las actividades que realizo	65%	35%
	Recibo prestaciones laborales	38%	63%
Forma de aprender	Aprendo mejor en aula, en forma presencial	86%	14%
	Aprendo mejor virtualmente	26%	74%
	Aprendo mejor leyendo	79%	21%
	Aprendo más rápido realizando	97%	3%
	Me incomoda preguntar en grupo	22%	78%
Pertenencia	Estoy en un gran equipo de trabajo	93%	7%
	Existe una escala de progreso profesional	39%	61%
	Somos un equipo de trabajo	89%	11%
	Tengo respaldo en mi labor	83%	17%

En el caso de los factores extrínsecos los resultados se presentan en el cuadro cuatro, en la variable de condiciones, si bien se cuenta con un espacio para la capacitación, las condiciones ambientales no son las mejores, la mayoría considera que se requiere de climatización 63%, que el material no es cómodo 51%, de igual forma consideran que la iluminación no es la adecuada.

En cuanto al programa de capacitación no se calendariza la capacitación y tampoco se recibe en tiempo y forma la fecha y horario de la capacitación, el factor calificado como positivo es que consideran que existe una alineación entre los conocimientos, objetivos y metas de la capacitación.

El apartado de división del trabajo el 64% menciona que realizan más actividades que las que corresponden a su puesto. Sobre las normativas de capacitación indicaron que no tienen un proceso de inducción, no existe una norma de los ascensos, y que tampoco existe un sistema de capacitación permanente.

Los resultados de la normativa indican que se conoce el objetivo de su servicio y que se conocen los procedimientos de las actividades que realizó, el total de los participantes no considera que existe un costo por el no estar capacitados, de igual forma no todos consideran que hay un proceso de capacitación permanente.

Cuadro 4 Resultados descriptivos de factores extrínsecos

Factores	Preguntas	Si	No
Capacitación (Condiciones)	Se cuenta con un espacio para la capacitación	71%	29%
	Se cuenta con un área climatizada para la capacitación	38%	63%
	Se cuenta con el mobiliario para leer y escribir cómodamente	49%	51%
	Hay tecnología exclusiva para la capacitación	39%	61%
	Se cuenta con la iluminación para la capacitación	61%	39%
	Me proporcionan lo necesario para el aprendizaje del curso	58%	42%
	Me proporcionan material de lectura y apoyo	42%	58%
Capacitación (Programa)	Se calendariza la capacitación	38%	63%
	Se respeta el horario establecido de capacitación	63%	38%
	Existe una alineación de conocimientos individuales y colectivos por áreas	63%	38%
	La alineación es también con los objetivos y metas de la administración municipal	67%	22%
	Recibí capacitación directa de mi superior	46%	54%
	Se nos capacita en las obligaciones del servidor público	53%	47%
	Recibo fecha y horario de la capacitación en tiempo	54%	46%
Comunicación	Tengo comunicación con mi superior	94%	6%
	La comunicación con titulares de áreas y jefaturas existe	85%	15%
División de trabajo	Manejo la computadora por lo menos tres veces a la semana	61%	39%
	Hago menos de lo que mi puesto solicita	1%	99%
	Hay demasiados jefes	13%	88%
	Se me contrató por mis conocimientos previos	85%	15%
	Se evalúa mi desempeño	74%	26%
	Hay pocos jefes	58%	42%
	Hago más de lo que corresponde a mi puesto	64%	36%
	Los mandos medios ven la capacitación como un valor añadido	67%	33%
Normativa	Recibo capacitación permanente	35%	65%
	Recibí formación en los últimos seis meses	49%	51%
	Conozco las normas y procedimientos de las actividades que realizó	92%	8%
	En mi puesto se puede ascender o recibir promociones	31%	69%
	Conozco el objetivo general de nuestro servicio	94%	6%
	Conozco los manuales y códigos de la administración municipal	44%	56%
	Recibí entrenamiento respecto de mis obligaciones en los últimos seis meses	32%	68%
	La administración reconoce la importancia de la capacitación	67%	33%
	La administración trabaja en la gestión del conocimiento	69%	31%
	Hay un costo público si no me capacitó permanentemente	8%	92%
	En mi área laboral, para el desarrollo de mis actividades cuento con equipo designado a mi persona	68%	32%
	Realice un curso introductorio a mi puesto	35%	65%
Perfil	Tengo disposición para aprender	99%	1%
	La capacitación trae beneficios a la administración	90%	10%
	Mi profesión coincide con mi labor diaria	65%	35%
	Mi formación laboral me sirve en mis labores diarias	93%	7%
	Soy hábil en el puesto que ejecuto	100%	0%
	Uso mis cualidades en el trabajo	99%	1%
	Considero importante la capacitación	97%	3%
	Tengo conocimiento de los flujos de trabajo	78%	22%

La capacitación es un proceso constante, para mejorar la seguridad y habilidades de quien toma la capacitación, la actualización un proceso personal para mejorar las condiciones laborales, es decir buscar una promoción laboral en un mejor puesto. Como es posible identificar ambos tienen propósitos diferentes, uno es personal y el otro es laboral. La capacitación al ser obligatoria debe cumplir con aspectos mínimos para que esta sea más efectiva como son mejorar las condiciones ambientales del lugar donde se imparte la capacitación, una programación más efectiva de los temas y el horario en el que se deben impartir.

Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten apreciar que la administración pública municipal cumple con la obligación legal de capacitar al capital humano que brinda el servicio público; asimismo, estos reconocen que están siendo capacitados y en menor proporción que por si buscan la auto capacitación fuera de lo laboral.

No obstante, la falta de seguimiento y evaluación del desempeño, como la inmediata realimentación que debiera generarse al término de una jornada de capacitación, ha evitado la correcta distribución de conocimientos y capacitaciones; la inadecuada comunicación con los servidores públicos genera que no se realicen las capacitaciones en el formato idóneo para que se dé el aprendizaje; sin embargo, existen dos factores positivos:

1) No muestran resistencia a la capacitación; y,

2) Se confirma que la administración hace uso de los medios a su alcance para capacitar sin erogaciones que generen redistribuciones de los ingresos y/o gastos innecesarios.

Ambas líneas son superables desde una correcta planificación que lleve a la instauración de una nueva gestión pública (NGP) ejecutada desde el Presupuesto basado en Resultados y el Seguimiento y Evaluación del Desempeño (PbR-SED) en un ejercicio que pondere el servicio público en un enfoque de resultados.

Es necesario un enfoque multidisciplinario en el desarrollo de capacitación, no sólo en el aspecto específico, también es necesario reflexionar en lo formativo (desarrollo de competencias), administrativo (planeación, organización y control) y normativo.

Referencias

- [1] Pérez, A. M. S., Milian, A. J. G., Cabrera, P. L., & Victoria, I. P. (2016). Desarrollo organizacional, cultura organizacional y clima organizacional. Una aproximación conceptual. Revista de Información científica para la Dirección en Salud. INFODIR, (24), 86-99.
- [2] DE LOS SERVIDORES, C. D. É., & FEDERAL, P. D. G. CONVOCATORIA 06 2018-El portal único del gobierno.[...] Manual de Organización...
- [3] Congreso del Estado de Veracruz (2019) Ley número 53 Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Veracruz-Llave.
- [4] García, J. M. O., Fernández, M. E. P., & Muñoz, O. G. Determinación de necesidades de capacitación en entidades públicas del estado de Veracruz (Recognition of training needs in public entities of the state of Veracruz).
- [5] Taborga, C. E. V., Castellón, R. V., & Taborga, O. Á. V. (2011). Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisión sample size determination using decision trees. Revista Investigación & Desarrollo, 1(11).
- [6] Kuder, G. F., & Richardson, M. W. (1937). The theory of the estimation of test reliability. Psychometrika, 2(3), 151-160.

Industria 5.0 y su relación con el factor humano, la tecnología y la gestión del conocimiento

J. Carro-Suárez^{1*}, S. Sarmiento-Paredes², V. Castro-López³

¹Programa Académico de Ingeniería, Universidad Politécnica de Tlaxcala, Avenida Universidad Politécnica No. 1 San Pedro Xalcatzinco Tepeyanco, C.P. 90180, Tlaxcala., México

²Facultad de Ciencias Económico-Administrativas, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Avenida Ribereña s/n, Tlaxcala Centro C.P. 90000, Tlaxcala, México

³Facultad de Ciencias Odontología, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Avenida Ribereña s/n, Tlaxcala Centro C.P. 90000, Tlaxcala, México

*jorge.carro@uptlax.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar la relación entre el factor humano, la tecnología, la gestión del conocimiento y el contexto de Industria 5.0 en las empresas, considerando como objeto de estudio la industria cerámica en Tlaxcala México. Para tal fin, se consideraron factores para la estrategia tecnológica, la gestión del conocimiento, el factor humano y las tecnologías disruptivas de Industria 5.0. Se diseñó y aplicó un instrumento de percepción y con los resultados obtenidos se realizó un análisis de correlación Pearson. Los resultados revelaron correlaciones significativas entre las variables de investigación, resaltando principalmente, la importancia que tiene el factor humano dentro del contexto de Industria 5.0, concluyendo que la aportación de factor humano es determinante para impulsar la tecnología digital y el conocimiento requerido para estas nuevas tecnologías.

Palabras clave: Industria 5.0, factor humano, tecnología, gestión del conocimiento.

Abstract

The aim of this research was to determine the relationship among the human factor, technology, knowledge management and the context of Industry 5.0 in companies, considering the ceramic tile industry in Tlaxcala Mexico as the object of study. For this purpose, the factors for the technological strategy, knowledge management and the human factor were considered, with the disruptive technologies of Industry 5.0. A perception instrument was designed and applied and a Pearson correlation analysis was performed with the results obtained. The results revealed significant correlations between the research variables, mainly highlighting the importance of the human factor within the context of Industry 5.0, concluding that the contribution of the human factor is decisive to promote digital technology and the knowledge required for these new technologies.

Key words: Industry 5.0, human factor, technology, knowledge management.

Introducción

El concepto de Industria 5.0 nace en enero de 2021, bajo la propuesta de la Unión Europea en cómo la tecnología se puede implementar para respaldar y fortalecer la relación e interacción entre sociedad e industria, con el objetivo de que el sector industrial sea más resiliente y sostenible, así como el que esté mejor preparado para el futuro, pero sobre todo, que sus acciones sigan un mayor enfoque centrado en el factor humano [1]. En este naciente concepto, las tecnologías digitales abren una nueva gama de oportunidades para capitalizar el valor agregado que el personal humano puede aportar, tanto al proceso como al producto, así como el alcanzar innovaciones radicales y mejorar la interacción entre humanos y máquinas [2], resaltando el poder que tiene el sector industrial para convertirse en un entre proveedor de prosperidad que promueva es respeto por nuestro planeta y por nuestra sociedad.

En un nuevo contexto, a Industria 5.0 también se le ha comenzado a relacionar con el desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA) y de la robótica industrial con un enfoque completamente enfocado en el trabajador, donde una colaboración activa entre máquinas y seres humanos se realiza bajo una completa sincronía, combinando la fuerza de trabajo de los robots con la capacidad creativa del ser humano [3].

En este contexto, Muller [4] identificó las siguientes tecnologías disruptivas relacionadas con Industria 5.0:

- Tecnologías centradas en el ser humano y de interacción humano-máquina que interconecten y combinen sus principales fortalezas. Se centran principalmente en métodos para el reconocimiento de voz y gestos en varios idiomas y predicción de la intención humana; tecnologías de seguimiento para la tensión mental y física y el estrés de los empleados; robots colaborativos (cobots), que trabajan junto con humanos y ayudan a los humanos; tecnologías de realidad aumentada, virtual o mixta, especialmente para la formación y la exclusividad y mejoras de las capacidades humanas físicas: exoesqueletos, equipo de trabajo bioinspirado y equipo de seguridad y mejoras de las capacidades cognitivas humanas: tecnologías para combinar las fortalezas de la inteligencia artificial y el cerebro humano (combinar la creatividad con las habilidades analíticas), sistemas de apoyo a la toma de decisiones
- Tecnologías bioinspiradas en materiales inteligentes. Mediante propuestas de dispositivos y sistemas con la capacidad de autocuración o autorreparación, ser ligeros, reciclables, de materia prima a partir de residuos, con la integración de materiales vivos, tecnologías de sensores integrados y biosensores, ergonomía adaptativa/reactiva y propiedades de la superficie y con materiales con trazabilidad intrínseca
- Tecnologías digitales basadas en tiempo real para la simulación y modelado de sistemas complejos. Mediante la aplicación de gemelos digitales de productos y procesos, simulación virtual y prueba de productos y procesos (centrado en el ser humano, seguridad laboral y operativa), simulación y modelado dinámico multiescala, simulación y medición de impacto ambiental y social, sistemas ciberfísicos y gemelos digitales de sistemas completos y mantenimiento planificado
- Tecnologías de transmisión, almacenamiento y análisis de datos cibernéticos. Implica el uso y manejo de sensores en red, interoperabilidad de datos y sistemas, seguridad cibernética escalable y multinivel, seguridad cibernética/infraestructura de TI en la nube segura, gestión de grandes datos, trazabilidad (origen de datos y cumplimiento de especificaciones), procesamiento de datos para procesos de aprendizaje y computación perimetral
- Inteligencia Artificial. Mediante el manejo y desarrollo de Inteligencia artificial basada en la causalidad y no solo en la correlación, en mostrar relaciones y efectos de red fuera de las correlaciones, capacidad para responder a condiciones nuevas o inesperadas sin apoyo humano, inteligencia de enjambre, interfaces cerebro-máquina, inteligencia artificial individual, centrada en la persona, aprendizaje profundo informado (conocimiento experto combinado con Inteligencia Artificial), coincidencia de habilidades de humanos y tareas, inteligencia artificial segura y energéticamente eficiente y la habilidad para manejar y encontrar correlaciones entre datos complejos e interrelacionados de diferente origen y escala en sistemas dinámicos dentro de un sistema de sistemas
- Tecnologías para la eficiencia energética y autonomía confiable. Con la propuesta de integración de fuentes de energía renovables, compatibilidad con las tecnologías Hydrogen y Power-to-X, uso de sensores autónomos de polvo y energía inteligentes y transmisión de datos de baja energía y análisis de los mismos.

Muller [4] menciona que a través de estas tecnologías se está buscando empoderar al sector industrial para que cuente con las capacidades y con las herramientas necesarias para alcanzar objetivos sociales centrados en el ser humano anteponiendo sus intereses y necesidades [5] y en una sostenibilidad integral, para promover una economía circular con procesos que reciclen y reutilicen sus recursos, que reduzcan residuos, así como el impacto ambiental.

Ahora bien, esta nueva revolución industrial requiere que como sociedad se trabaje a la par con su desarrollo, Para ello, se requieren tres factores determinantes que de forma implícita forman parte de ella misma: el factor humano como la parte pensante creativa que coordina la ejecución, la tecnología como la parte que desarrolla el trabajo físico y de riesgo, y el conocimiento, como el proceso integral que orienta las actividades que en conjunto se deben realizar [6].

Como parte del factor humano Carro et al., [7] considera a la capacidad creativa, el trabajo en equipo, el compromiso de los trabajadores y el desarrollo del capital humano como los principales factores que aporta el ser

humano dentro de las organizaciones, generando ideas y mejores prácticas para la solución de problemas, configurando equipos formados por profesionales con capacidades complementarias y reconociendo a los empleados como el conducto entre el proceso de innovación y los factores de organización. El concepto de tecnología, lo incluye dentro de las estrategias tecnológicas que debe promover toda organización, desde la importancia de contar con tecnología de punta y con maquinaria reciente, la relevancia de implementar tecnologías de vanguardia, tales como son hoy en día las tecnologías digitales, contar con una buena infraestructura tecnológica, como lo es computadoras, software especializado, internet, líneas telefónicas u otros tipos de telecomunicaciones y el apoyo de asesoría técnica especializada. Con respecto a la gestión del conocimiento, menciona la importancia de realizar actividades de investigación y desarrollo, y contar con personal para ello, así como realizar vínculos con instituciones de educación superior y/o centros de investigación para realizar proyectos en conjunto, capacitaciones y movilidad de personal.

Por lo que es claro el reconocer la importancia de recopilar mayor conocimiento y promover una mayor comprensión sobre el papel que tiene el factor humano en conjunto con la tecnología y el desarrollo de ciencia y conocimientos, especialmente, ante los nuevos retos que vienen, dentro del contexto de Industria 5.0, como lo es el preparar al personal de las empresas y a la sociedad en general a través de una educación pertinente en las instituciones de educación en todos los niveles; de una capacitación y motivación adecuadas en las empresas y organizaciones, todo con el objetivo de facilitar una educación de vanguardia acorde con el momento tecnológico que vivimos como sociedad.

Finalmente, en virtud de su trascendencia económica, se seleccionó a la industria cerámica en México por ser un sector poco estudiado pero de gran importancia para el país al ubicarse entre los diez principales productores a nivel mundial y que ha disfrutado de niveles de producción, exportación e importación muy satisfactorios con un buen nivel de crecimiento en todas las áreas del mundo en años recientes [7] y que ha logrado mantenerse en el mercado a pesar de la crisis sanitaria de Covid-19 que ha vivido la sociedad mundial. Este sector es uno de los primeros que hoy en día dirige su innovación hacia nuevos procesos industriales que potencialicen la personalización *just in time*, la domótica en los edificios y construcciones, el uso y aplicación de nanomateriales o las posibilidades de la incursión de la cerámica en otros ámbitos experimentales. Esto refleja que una de las principales fortalezas de este sector ha sido el mantener constantemente una base tecnológica fuerte y precisa, así como el apoyarse de su experiencia empresarial, aspectos que le han permitido confrontar crisis anteriores y seguir siendo sostenible y rentable en el tiempo.

Metodología

Para el presente trabajo se planteó una investigación del tipo experimental, cuantitativa, transversal y correlacional ya que se buscó establecer las causas, los sucesos que se estudian y el por qué las variables se correlacionan a través de un análisis inferencial [8]. Para tal fin, y dadas sus características, se consideró la propuesta de tecnologías disruptivas para Industria 5.0 de Muller [4] y la propuesta de factores para el factor humano, estrategia tecnológica y gestión del conocimiento de Carro et al., [7].

Instrumento de percepción y población

Se diseñó un instrumento con 20 reactivos para identificar la percepción que se tiene sobre las variables de investigación. Para medir esta percepción, se utilizó como base el método de escalamiento Likert, con una escala de cinco categorías de respuesta con unidades métricas del 1 al 5, en donde el 1 se especifica como nada determinante, 2 poco determinante, 3 indiferente, 4 determinante y 5 como muy determinante. La encuesta se validó por medio del juicio de expertos. Para ello se seleccionó e invitó a cinco jueces de reconocida formación profesional, amplia experiencia en los temas y con reconocimiento por la comunidad académica [9]. Asimismo, su confiabilidad fue calculada empleando el índice de Alfa de Cronbach bajo el criterio de Hernández-Sampieri y Mendoza-Torres [8].

Para la aplicación del instrumento se seleccionó a la industria cerámica en México, comprendiendo a las grandes empresas (más de 250 trabajadores). La población se delimitó al estado de Tlaxcala como objeto de estudio por su posición a nivel nacional en cuanto a número de grandes empresas instaladas y en operación, de las que se destacan seis plantas de pisos y recubrimientos, siendo empresas trasnacionales, líderes en el mercado nacional e internacional que contribuyen significativamente al desarrollo económico del estado y del país. En el perfil del encuestado, se consideró al personal que tuviera experiencia de al menos dos años en el sector en puestos de mando medio o directivo.

Análisis de inferencial

Para determinar la existencia de correlaciones significativas ($p < 0.01$) entre las variables sometidas a estudio se aplicó el análisis de correlación de Pearson (r), presentando los resultados con base en el criterio de Roundtree [10]. El cálculo se realizó aplicando el software *IBM SPSS Statistics 21*.

Resultados y discusión

Aplicación y confiabilidad del instrumento

El instrumento se aplicó en seis empresas de cerámica, lo que representó el 100% de la población establecida, recabando en total 32 instrumentos. Dada la situación de contingencia sanitaria que en parte se vive en el país, la aplicación se realizó por medio de correo electrónico. El resultado de su confiabilidad de acuerdo con el coeficiente de Alfa de Cronbach fue de 0.802, lo que indicó una confiabilidad aceptable [8].

Análisis de correlación Pearson

El resultado del análisis de correlación Pearson entre las tecnologías disruptivas de Industria 5.0, factor humano, tecnología y gestión del conocimiento se muestra con detalle en la Tabla 1, presentando las variables que tienen una correlación significativa ($p < 0.01$) moderada (superior a $r = 0.5$) y alta (superior a $r = 0.7$) que de acuerdo con los criterios de Roundtree, son los más significativos y representativos para una investigación [10].

Tabla 1. Resultados del análisis de correlación Pearson entre las variables sometidas a estudio

Variable	Variable de correlación	Coefficiente de Pearson (r)	Significancia (p)	Grado de Correlación según Roundtree
Industria 5.0	Factor humano	0.516	0.015	Moderada
	Tecnología	0.735	0.003	Alta
Factor humano	Industria 5.0	0.516	0.015	Moderada
	Tecnología	0.548	0.010	Moderada
	Conocimiento	0.577	0.025	Moderada
Tecnología	Industria 5.0	0.735	0.003	Alta
	Factor humano	0.548	0.010	Moderada
Gestión del Conocimiento	Factor humano	0.577	0.025	Moderada

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 1 se observa que Industria 5.0 presentó una correlación alta con la tecnología con un valor de correlación de 0.735. Se destaca la importancia que tiene el hecho de que las tecnologías disruptivas continúan evolucionando a la par del desarrollo tecnológico en el mundo. Dado el enfoque primordial que se les dio en Industria 4.0, se les consideró como la fase de digitalización del sector manufacturero impulsadas por el asombroso aumento de la información por medio de datos; mayor potencia en la conectividad y nuevas herramientas computacionales; el surgimiento de nuevas capacidades de análisis e inteligencia empresarial; y nuevas formas de interacción hombre-máquina con grandes mejoras en la transferencia de instrucciones digitales en el mundo físico [11] hasta el resurgimiento del concepto de Industria 5.0, el cual se visualizó en una primera instancia como el complemento y ampliación de Industria 4.0, haciendo mayor énfasis en factores que no solo son económicos o tecnológicos, sino también ambientales y sociales. Por lo que Industria 5.0 no debe visualizarse sólo como una alternativa a los paradigmas existentes sobre Industria 4.0, sino también como el resultado de un ejercicio prospectivo para que pueda coexistir el sector industrial con las nuevas tendencias y con las nuevas y cada vez mayores necesidades de la sociedad.

En el mismo principio, Industria 5.0 presentó una correlación moderada de 0.516 con el factor humano. Se destaca el hecho de que, en esta nueva revolución industrial, el factor humano desempeñará roles determinantes, como lo es el gestionar, proteger y vigilar el gran flujo de datos y las redes de comunicación, programar y operar sistemas robotizados, inteligentes y automático, y simular procesos y productos en ambientes virtuales. Por lo que Industria 5.0 es básicamente una cuestión de trabajo combinado entre sistemas robotizados, automatizados

e inteligentes y la mano de obra que aporta el personal humano, trabajando mano a mano dentro de una extensa variedad de posibilidades con el objetivo de generar valor dentro de los nuevos procesos de fabricación y producción [3]. Razón por la cual, el personal en las plantas continuará desempeñando un papel primordial y clave dentro de lo que concierne a la supervisión de los procesos, garantizando que éstos se realicen de forma segura y sin problemas.

Dentro de los hallazgos más importantes del estudio es que el factor humano, además de presentar una correlación moderada con Industria 5.0, también presentó correlaciones significativas moderadas con la tecnología (0.548) y con la gestión del conocimiento (0.577).

Con respecto a tecnología, se identificó que, para poder implementar tecnología de punta, operar y mantener equipos y maquinaria, así como implementar nuevas tecnologías dentro de los procesos de producción se requiere personal capacitado, que en conjunto con asesoría especializada aproveche y utilice de forma eficiente cada aspecto tecnológico con el que cuente la empresa. Por lo que en el futuro será determinante que un operador además de contar con habilidades en el manejo de maquinaria también pueda contar con conocimientos sobre tecnologías digitales, tales como protección de datos, manejo de información a través de redes, almacenamiento en la nube e internet de las cosas.

Ya en el Índice Mundial de Innovación 2014 se hace referencia de que una sociedad educada obtendrá mejores resultados para fomentar la innovación y que la calidad del talento con el que cuentan las empresas en temas de ciencias, ingeniería, negocios y administración tomará más importancia y será más decisivo para el futuro [12], por lo que una capacitación continua, pertinente y actualizada será determinante para el entendimiento y la aplicación adecuada de las nuevas tecnologías digitales.

Es por ello, que también es destacable el promover convenios de colaboración con instituciones educativas, y en especial, con instituciones de educación media-superior, superior y centros de investigación para capacitar al personal en aspectos de tecnologías emergentes y disruptivas. Asimismo, es recomendable trabajar de la mano en conjunto con organismos gubernamentales, cámaras de comercio y con otras instituciones privadas para realizar proyectos innovadores y sustentables que impacten directamente en la solución de problemas sociales. Aunado a ello, la parte humana aportará su ética, su trabajo en equipo, su creatividad y, sobre todo, su compromiso personal, los cuales son realmente el valor agregado que la sociedad hoy en día requiere.

Finalmente, a pesar de que tecnología y gestión del conocimiento no presentaron correlaciones significativas entre ellos, es importante mencionar que dentro de la percepción por parte de los encuestados se observó que consideraron que el desarrollo de tecnología sí es determinante para las empresas, especialmente, en tiempos de pos-pandemia y no así la gestión del conocimiento, la cual no consideraron determinante para el desarrollo e implementación de Industria 5.0 ante el hecho de que esta tecnología en su mayoría proviene del extranjero, por lo que sólo se requiere un poco capacitación y adiestramiento para poder operarla, dejando de lado el desarrollar tecnología propia e investigación.

Trabajo a futuro

Derivado de que la industria cerámica es un sector poco estudiado pero de gran relevancia económica para el país, al ser un generador de empleos aún ante situaciones complejas como la situación de contingencia sanitaria que se ha vivido en los últimos años, se plantea la propuesta de continuar con el estudio analizando directamente la importancia que tiene el factor humano dentro del contexto de Industria 5.0, incorporando además, otro concepto determinante hoy en día para el sector industrial: el desarrollo sustentable.

Conclusiones

Industria 5.0 es un concepto que a pesar de que nació oficialmente en el 2021 desde años previos se vino incorporando y estableciendo en diferentes sectores industriales como parte de una nueva cultura empresarial, en la cual el factor humano nuevamente toma relevancia y vuelve a ser la parte esencial de los procesos. Nuevamente, se reconoce que la tecnología no puede suplantar al ser humano en su totalidad, por lo que el supuesto de que un sistema automatizado tenga la capacidad de discriminar acciones que sometan a juicio valores como puede ser la ética o el pensamiento creativo o crítico aún se encuentra en debate.

Desde otra perspectiva, Industria 5.0 también viene a revolucionar el desarrollo empresarial con el supuesto de que no solamente se debe considerar al factor humano como la parte central de los procesos, sino también en el hecho de que se le debe dar la importancia pertinente a la sustentabilidad empresarial. En este aspecto, en la dimensión social Industria 5.0 reconoce que el personal debe ser capacitado y protegido dentro de su ambiente laboral, En la parte económica puntualiza que una empresa que adopta tecnología puede ser rentable y sustentable al mismo tiempo y que a su vez, puede beneficiar a la sociedad con el cuidado de la energía y con el impulso tecnológico para la aplicación de tecnologías limpias y renovables. En la dimensión ambiental, promueve que a través de la tecnología y en su sinergia con el factor humano se puede proteger y preservar el medio ambiente de nuestro planeta. Y en la dimensión institucional se fomenta la creación de una cultura que fundamente sus principios en el trabajo conjunto de todos los *stakeholders* para alcanzar un bienestar común.

De esta forma, el análisis de correlación Pearson permitió cumplir el objetivo de determinar la relación existente entre las variables sometidas a estudio, donde el factor humano se destaca como la parte determinante entre Industria 5.0, tecnología y conocimiento. Desafortunadamente, se destaca también el poco interés de las empresas en establecer convenios con instituciones de educación superior, debido principalmente, a que su preocupación actual está más en sobrevivir en el mercado antes de realizar proyectos que impliquen inversiones de tecnología o capacitación de personal. Asimismo, también se percibió inquietud e incertidumbre con respecto a que el implementar tecnologías y maquinaria actualiza implica una inversión considerable, que por el momento no todos los sectores industriales visualizan como algo viable. De tal forma que el desarrollar investigación y conocimiento se convierte ahora en la mejor posibilidad de generar tecnología propia, por lo que las empresas deben preservar su capital y acceder a la búsqueda de incentivos económicos como son las convocatorias del Consejo Nacional de Tecnología (CONACyT) en materia de innovación, infraestructura y formación de recursos humanos de calidad.

La tecnología avanza de forma exponencial, y la que hoy es nueva y disruptiva, el día de mañana es obsoleta. Es por ello, que la educación, aunque no lo parezca, será en gran parte determinante para que empresas, países y gobiernos en todo el mundo adopten con mayor facilidad a Industria 5.0 en el futuro y se puedan subir y permanecer sin problemas sobre la gran ola tecnológica que sigue avanzando. Industria 5.0 requiere de estos tres conceptos para permanecer vigente en el tiempo en conjunto con otro que va surgiendo de forma progresiva: el desarrollo sustentable.

Las empresas del futuro no sólo se adaptarán al concepto de Industria 5.0 como empresas inteligentes y humanas, el futuro próximo prevé el nacimiento de empresas que además de ser inteligentes, también deben ser innovadoras y sustentables, y para ello, la tecnología, el conocimiento y en especial el factor humano serán determinantes para que lo puede ser en el futuro el surgimiento de Industria 6.0 en el mundo.

Referencias

- [1]. M. Breque, De Nul M.L. and A. Petridis, A. "Industry 5.0 Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry," European Commission: Bruselas. Recuperado de <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/468a892a-5097-11eb-b59f-01aa75ed71a1/> 2021.
- [2]. Comisión Europea, "Industry 5.0: Towards more sustainable, resilient and human-centric industry," Recuperado de https://ec.europa.eu/info/news/industry-50-towards-more-sustainable-resilient-and-human-centric-industry-2021-jan-07_en_2021.
- [3]. E. Ostergaard, "Industria 5.0: La nueva era en el sector de la manufactura Mexicana. Revista Metalmecánica Internacional," Recuperado de <https://www.americanindustrialmagazine.com/blogs/manufactura/industria-5-0-la-nueva-era-en-el-sector-de-la-manufactura-mexicana> 2018.
- [4]. J. Muller, "Enabling Technologies for Industry 5.0 Results of a workshop with Europe's technology leaders," Publications Office of the European Union. Recuperado de <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8e5de100-2a1c-11eb-9d7e-01aa75ed71a1/language-en> 2020
- [5]. Y. Lu, J.S. Adrados, S.S. Chand, S.S. and L. Wang, "Humans Are Not Machines—Anthropocentric Human–Machine Symbiosis for Ultra-Flexible," *Smart Manufacturing. Engineering*, Vol. 7, no. 6, pp. 734-737, 2021.
- [6]. J. Carro-Suárez and S. Sarmiento-Paredes, "The human factor and its role in the transition to Industry 5.0: a systematic review and future perspectives," *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, En prensa, 2022.

- [7]. J. Carro-Suárez, S. Sarmiento-Paredes, G. Rosano-Ortega, J. Garnica-González and C.A. Vega-Lebrún, "The process of innovation as a determinant factor of sustainable development in companies," *Int. J. Innovation and Sustainable Development*, Vol. 15, no.1, pp.100-125, 2021.
- [8]. R. Hernández-Sampieri and C.P. Mendoza-Torres, "Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta," México: MacGraw-Hill Education, 2018.
- [9]. J. Escobar-Pérez and A. Cuervo-Martínez, "Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación de su utilización," *Avances de Medición*, vol. 6, no. 1, pp. 27-36, 2008.
- [10]. J.E. De Muth, "Basic Statistics and pharmaceutical statically applications," New York: CRC Press, 2014.
- [11]. J. Lee, E. Lapira, B. Bagheri and H. Kao, "Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment," *Manufacturing Letters*, Vol. 1, no. 1, pp. 38-41, 2013.
- [12]. World Intellectual Property Organization [WIPO], "Global Innovation Index 2014. The human factor in innovation," Recuperado de: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/economics/gii/gii_2014.pdf 2014.

Propuesta metodológica sobre análisis del discurso: caso entidades de base tecnológica en el estado de Colima, México.

O. Mares Bañuelos*¹, A. Arcega Ponce¹, E. Macías Calleros¹,
A. Cárdenas Villalpando, H. Moreno Zacarías¹

¹Facultad de Contabilidad y Administración de Tecomán, Universidad de Colima, Carretera Colima-Manzanillo Kilómetro 40, Col. La Estación, C. P. 28934, Tecomán, Col., México.

*oscar_mares@ucol.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Mediante el uso de triangulación de datos, se construye una propuesta metodológica para el análisis del discurso. Esta metodología tiene como fundamento las contribuciones teóricas que atienden el rigor metodológico y enfatizan en la fiabilidad del procedimiento para el análisis estructural y semántico del discurso. Los resultados obtenidos consideran la información de tres fuentes: entrevistas no estructuradas a líderes de las TI, premisas documentales y una auditoría externa a la industria de las TI en el estado de Colima, cuyo proceso y resultados se utilizan para el análisis de cinco variables (Estatus de las TI, Gestión del capital humano, Modelo de gestión de proyectos, Metodologías innovadoras, El papel de la industria de las TI), para la toma de decisiones en las organizaciones.

Palabras clave: Análisis del discurso, Gestión de proyectos, Triangulación de datos, Metodologías innovadoras.

Abstract

Through the use of data triangulation, a methodological proposal for discourse analysis is built. This methodology is based on theoretical contributions that address methodological rigor and emphasize the reliability of the procedure for the structural and semantic analysis of discourse. The results obtained consider information from three sources: unstructured interviews with IT leaders, documentary premises and an external audit of the IT industry in the state of Colima, whose process and results are used for the analysis of five topics (IT Status, Human capital management, Project management model, Innovative methodologies, The role of the IT industry) for decision making in organizations.

Key words: Discourse analysis, Project management, Data triangulation, Innovative methodologies.

Introducción

La investigación describe el procedimiento que se realizó para recabar la información del objeto de estudio[1], y como una primera aproximación se han definido los atributos del constructo, haciendo referencia a la teoría de objetos propuesta por Ole-Johan Dahl, Kristen Nygaard, científicos de origen noruego, en donde un objeto abstracto se le define por sus atributos, sus especificaciones y las relaciones de estos entre sí. De esta manera se ha definido cada una de las variables de tipo dependiente, que queremos conocer:

1. Gestión de capital humano en TI
2. Modelos de negocio de las empresas de TI
3. Metodologías empleadas en empresas de TI

Las cuales se han evaluado mediante tres estrategias: auditorías externas, referentes documentales y entrevistas no estructuradas, para organizar la información de acuerdo con las necesidades del estudio, procurando en todo momento la homogeneidad entre los instrumentos y los atributo a medir y analizar. Procurando objetividad y fiabilidad. La información de tipo cualitativa, que mediante entrevistas realizadas a instancias relevantes de la industria de las TI en el estado de Colima y en México, se ha analizado para complementar el aspecto cuantitativo de la misma. Para constituir una serie de tablas derivadas de dicho

análisis, las cuales denotan evidentes significados, mismos que son insumos para la tomade decisiones de acuerdo a los temas o variantes de interés. Las entidades informantes pertenecen a la AMITI, al Cluster de las TI Colima A.C., al Consejo del Conacyt Colima, a la industria del software y a la academia.

Metodología

Materiales

La materia prima de este análisis cualitativo se ha originado mediante datos obtenidos mediante triangulación de información de tres orígenes distintos: premisas documentales de acuerdo a las tres variables dependientes descritas con anterioridad, entrevistas no estructuradas a líderes de las TI en México, y una auditoría realizada a unidades económicas de la industria de las TI en el estado de Colima.

Procesos y métodos

Para [2], existen cuatro diferentes tipos de triangulación de datos:

- 1.Triangulación de datos: en este se realiza un muestreo teórico del proceso de acumulación y gestión de la información: Análisis agregado (muestreo aleatorio), análisis interactivo (estudios de cara a cara), análisis colectivo (observación estructural funcional de una comunidad).
- 2.Triangulación de investigador: se realiza la múltiple observación de investigadores en un mismo objeto de estudio, evitando así el sesgo potencial de un solo observador y asegurando una mayor confiabilidad en las observaciones.
- 3.Triangulación teórica: en este tipo de colección de datos, se prueban dos o más modelos diferentes, sobre un mismo grupo o escenario particular, en donde se busca confrontar hipótesis distintas, o en su defecto, llegar a resultados que pudieran eventualmente ser empatados. Es un método poco usado, pues no es económico en el más estricto sentido, pues requiere de un rigor metodológico probado por ambas partes, y mientras más hipótesis se piensan probar, más es su costo metodológico.
- 4.Triangulación metodológica: en este tipo de colección de datos, se extraen la información empírica de un mismo fenómeno estudiado, bajo diferentes condiciones del mismo. En síntesis, la triangulación entre métodos es la combinación de dos o más estrategias de investigación diferentes en el estudio de una unidad empírica (conjunto de datos) [3].

En este sentido, se trata de información relevante de datos de origen cualitativo, y de sus datos vertidos en entrevistas, en premisas de modelos de negocio basadas en TI de orden nacional y global, complementada con una auditoría externa practicada a entidades económicas del estado de Colima, México, afiliadas al Clúster de la TI Colima A.C. propiamente, idea que [4], definen a la triangulación, como el uso de varios métodos tanto cualitativos como cuantitativos, de fuentes de datos, teorías, de investigadores o de ambientes en el estudio de un fenómeno.

Rigor y validez del estudio

En relación con el rigor científico de la investigación cualitativa [5] citan a Patton, Hoepfl, Lincon y Guba, quienes a su vez, proponen que la investigación constructivista demanda criterios diferentes de los de la investigación convencional, relacionados estos con:(Validez interna (Credibilidad), Validez externa, generalización (Transferibilidad, Intercambiabilidad), Confiabilidad (Dependabilidad, Seriedad), Objetividad (Imparcialidad, Honradez, Confirmabilidad, Neutralidad)). La idea del uso de la triangulación no significa literalmente que se tengan que usar rigurosamente tres formas de colección de datos empíricos, fuentes de datos, investigadores, teorías o ambientes, por el contrario, si implica la triangulación, el uso de diferentes estrategias al estudiar un mismo fenómeno, como pudiera ser entrevistas individuales, grupos focales o talleres investigativos, en la que se pudiera enriquecer la información empírica este mismo orden de ideas y relacionado con el análisis del discurso, contempla el rescate de cuadros de información de los textos tratados de forma: Descriptiva, Explicativa y evaluativa, Estructural o de intención, Énfasis positivo, negativo o neutro, Intensidad y ponderación expresada, Importancia que se otorga al mismo [6]. Para de esta manera continua su informe con relación a la fiabilidad y validez. mencionando que estos pueden ser soportados por la metodología de la triangulación, sea esta de datos, de investigadores, teórica o metodológica, en el cual cita las metodologías empleadas por Barney Glaser y Anselm Strauss en su teoría fundamentada, el procedimiento analítico de Spradley, además de proponer la auditoría externa sugerida por Lincon y Guba con el propósito de aumentar la

confiabilidad del proceso y del producto, observando de esta manera a la investigación como un todo bajo la teoría general de sistemas propuesta por Ludwin Von Bertalanffy.

Resultados y discusión

Por su parte[7] nos ilustra en relación con la forma del muestreo en la investigación cualitativa y nos menciona el uso de procedimientos estadísticos como lo es el muestreo aleatorio simple o estratificado, sin embargo, lo que se busca es: (Crear constructos, Describir fenómenos, Explicar procesos micro sociales, Analizar características particulares de un subconjunto de la población, Descubrir patrones dentro de una población irregular). Al considerar el tratamiento de los datos, los cuales pasan por un análisis de tipo: (Gramatical, Semántico, Análisis, Cognitivo, Categorización, Codificación, Organización conceptual (transformación de datos)) [8] En este sentido, [9] contempla como una propiedad de validez de rigor científico en la investigación cualitativa, a la validez semiológica, la cual aborda el valor del análisis semiológico del discurso social, para muestras de datos no probabilísticos, con fundamento en los estudios de Zelling Sabbetai Harris, sobre el análisis del discurso.

Tabla 1. Triangulación de datos, derivada de entrevistas a líderes nacionales y locales en el ámbito de las TI (vista parcial de datos).

	1. Estatus de las TI en el país o entidad	2.Gestión del capital humano	3.Modelo de gestión de proyectos	4.Metodologías innovadoras	5.El papel de la industria de TI
ENTREVISTA A					
AMITI Javier Allard Taboada Director General	Clúster de Querétaro, Jalisco, CDMX, Yucatán, Colima se encuentran en desarrollo creciente.	Las universidades deben planificar las competencias de los próximos diez años. Se debe buscar un mecanismo para el financiamiento de las certificaciones.	La clusterización pareciera ser el mecanismo adecuado para conseguir que los proyectos sectoriales se lleven a buen puerto.	No se puede concebir el desarrollo de TI con calidad sin estas metodologías de buenas prácticas a nivel global.	La triple hélice debe tocar a todos los actores del desarrollo, pues la agenda digital está en marcha. Es decir, la transformación digital para el país.

Tabla 2. Análisis de premisas documentales en el ámbito de las TI a nivel nacional e internacional. (vista parcial de datos).

	1. Estatus de las TI en el país o entidad	2.Gestión del capital humano	3.Modelo de gestión de proyectos	4.Metodologías innovadoras	5.El papel de la industria de TI
PREMISA A					
AMITI	El mercado de TIC representó el 5% del PIB hacia el 2015 con un valor de 35 mil millones de dólares en México (I. Maldonado, IDC México, 2015).	Vacío ***	AMITI informó que, el 50% de las empresas en México apuestan sus inversiones en TIC hacia mejoras en la productividad y los procesos de negocio.	Son cuatro las tecnologías que están impulsando la inversión en TIC en el país: Procesamiento en la nube, conectividad, interconexión por redes sociales y gran procesamiento (big-data), todas las anteriores	Datos del presente informe señalan que al cierre de 2015, el mercado de TIC llegó a los 60 mil MD en nuestro país, lo cual representa un incremento del 4% respecto del año anterior.

requieren de uso
 intensivo de
 internet.

Tabla 3. Auditoría externa de unidades económicas afiliadas al Clúster TI Colima, A.C. (vista parcial de datos).

	1. Infraestructura	2. Equipamiento	3. Tecnología	4. Procesos	5. Personal certificado	6. Empresa certificada	7. Puntuación general
ENTIDAD A							
SIACEPSA	Muy bien	Muy bien	Muy bien	Regular	Bien	Bien	4.30
ENTIDAD B							
Montecristo Data Mining	Muy bien	Muy bien	Muy bien	Muy bien	Muy bien	Bien	4.80

Factores de competitividad	Regular -Bien	90%	Capacidad instalada y cómputo: Poco más de la media de las empresas de TI afiliadas al Clúster adolece de una infraestructura y equipamiento adecuado para el buen desempeño de sus funciones, sin embargo, se consideran suficientes.
1. Infraestructura	Muy bien	10%	
2. Equipamiento			Mecanismos de procesamiento: Se consideran adecuados los conocimientos aplicados a los procesamientos de datos, conectividad y demás técnicas de servicios tecnológicos de la mayoría de las empresas.
Factores de competitividad	Bien-Muy bien	80%	
3. Tecnología	Regular	20%	Formas de trabajo validadas y probadas: La falta de estandarización en la ejecución de procesos es uno de los mecanismos que adolece la mayoría de las empresas.
Factores de competitividad	Suficiente-Bien	90%	
4. Procesos	Muy bien	10%	Formas de trabajo validadas y probadas: Es notable la deficiente cantidad de empresas y profesionales de las TI que ostentan certificaciones de buenas prácticas de la industria a nivel nacional o internacional.
Factores de competitividad	Insuficiente-Regular	90%	
5. Personal certificado	Bien-Muy bien	10%	Notas adicionales
6. Empresa certificada			
<p>La auditoría externa se realizó de acuerdo con la política de calidad y competitividad de la industria de las TI en el estado, y por iniciativa del propio Clúster TI a las empresas que decidieron someterse a este ejercicio, como estrategia para conseguir el despliegue de la agenda digital en el estado de Colima. Los resultados de este estudio servirán como insumo para la toma de decisiones en el corto y mediano plazo, relacionado con el Programa Operativo Anual del Clúster.</p> <p>A la fecha se han ofrecido cuatro certificaciones para lograr las competencias necesarias para desarrollar los proyectos sectoriales en el estado, presentándose estos a los sectores del agro y logística portuaria.</p>			

Figura 1. Infraestructura de TI en auditoría practicada a la industria local: El propósito de la auditoría externa en primera instancia es porque garantiza cierta confiabilidad en el tema de la certidumbre a la hora de contar con elementos de valor para poder evaluar entidades de cualquier naturaleza, en este case de la industria de las TI.

1. Estatus de las TI en el país o entidad	AMITI:	Descriptiva Ponderación Énfasis Estructural Importancia	Ciudades capital *** +++ Argumentada ###	Semántica Modelo centralizado de bienes y servicios, desarrollo focalizado en ciudades capitalinas y de vocación generalmente industrial.
	Clúster: TI	Descriptiva Ponderación Énfasis Estructural Importancia	Gobernanza de TI *** 000 Argumentada ###	Semántica Posicionar al estado de Colima en el ámbito nacional de las TI mediante un modelo de gobernanza competitivo.
	CONACYT: Colima	Descriptiva Ponderación Énfasis Estructural Importancia	TI en evolución *** --- Argumentada ###	Semántica Fortalecer la triple hélice para impulsar a las TI en el estado de Colima.
	Softek:	Descriptiva Ponderación Énfasis Estructural Importancia	Política gubernamental *** --- Argumentada ###	Semántica Rezago de México en TI a nivel global, necesita impulso de políticas gubernamentales.
Notas adicionales				
Las fuentes informantes imprimen especial énfasis a los modelos de negocio impulsadas por la estrategia competitiva de las TI, sin embargo, hacen referencia a la necesidad de aplicar impulsores como la triple hélice, una gobernanza adecuada y políticas públicas que las apuntalen para competir globalmente, sin embargo, no se especifican formas de impulsar el capital humano en TI.				

Figura 2. Entrevistas a líderes nacionales y locales en el ámbito de las TI: mediante entrevistas no estructuradas, se recabó la información que, sobre tres variables de interés para el constructo, se evaluaron y pasaron por el proceso metodológico descrito, arrojando el análisis del discurso de estas instancias.

La tabla 3 describe los seis elementos de análisis del discurso por los que se tamizó la información proveniente de las fuentes anteriormente citadas, las cuales se han triangulado con el propósito de contar con elementos de juicio sobre el estado que guarda la industria de las TI en tres temas, tópicos o variables de interés para el presente estudio, que como ya se ha mencionado es de tipo cualitativo.

Tabla 3. Descripción de simbología utilizada en la ponderación de valores analizados en el análisis del discurso con base en las teorías descritas en el fundamento metodológico.

1.Descriptiva	{idea clave token}
2.Ponderación	{alta ***, media **, baja *}
3.Énfasis	{positivo +++, negativo ---, neutro 000}
4.Estructural	{Argumentada, Poco argumentada, No argumentada}
5.Importancia	{poco ///, mucho ###, nada ???}
6.Semántica	{significado central textual}

1. Estatus de las TI en el país o entidad	<p>Informantes { AMITI, Sector SCT, AAIMSI, IMCO, CONACYT }</p> <p>Convergencias {brechas sociales en TIC, impacto positivo en el PIB, baja presupuestal en TIC}</p> <p>Divergencias { 0 }</p> <p>Hitos { (5% PIB de TIC, 2015), (Internet a 1,456 municipios,2015) }</p>
2. Gestión del capital humano	<p>Informantes { AMITI, Sector SCT, AAIMSI, IMCO, CONACYT }</p> <p>Convergencias {bajo presupuesto en I+D, baja producción en propiedad industrial e intelectual}</p> <p>Divergencias { 0 }</p> <p>Hitos { (0.5% PIB en I+D Méx., 2013), (0.5% PIB en I+D Otros países, 2013) }</p>
3. Modelo de gestión de proyectos	<p>Informantes { AMITI, Sector SCT, AAIMSI, IMCO, CONACYT }</p> <p>Convergencias {agenda digital 4.0, inversión en innovación de procesos productivos}</p> <p>Divergencias { se augura crecimiento de inversión TIC, se augura decrecimiento en emprendimientos }</p> <p>Hitos { (50% inversión en TIC de empresas, 2016), (59% de gasto en voz y datos, 2016) }</p>
4. Metodologías innovadoras	<p>Informantes { AMITI, Sector SCT, AAIMSI, IMCO, CONACYT }</p> <p>Convergencias {agenda digital 4.0, economía del conocimiento, servicios en la nube}</p> <p>Divergencias { 0 }</p> <p>Hitos { (programa PROSOFT impulsor de industria 4.0, 2016) }</p>
5. El papel de la industria de TI	<p>Informantes { AMITI, Sector SCT, AAIMSI, IMCO, CONACYT }</p> <p>Convergencias {incremento en conectividad, empleos en TIC, servicios de voz y datos}</p> <p>Divergencias { 0 }</p> <p>Hitos { (estructura organizacional como impulsor de la agenda digital, 2016) }</p>
Notas adicionales	
Las fuentes informantes imprimen especial énfasis en abatir la brecha digital del país, de la rentabilidad de las TIC, de la importancia de los programas sectoriales como PROSOFT para el impulso de la economía basada en el conocimiento y en la industria 4.0. (TACHADAS sin datos).	

Figura 3. Premisas de carácter consistente en el análisis de discurso. Las convergencias, divergencias e hitos, han sido los elementos de filtro en el sector de las TI o informantes, que en relación de las variables de la primera columna definen.

Contraste cuantitativo

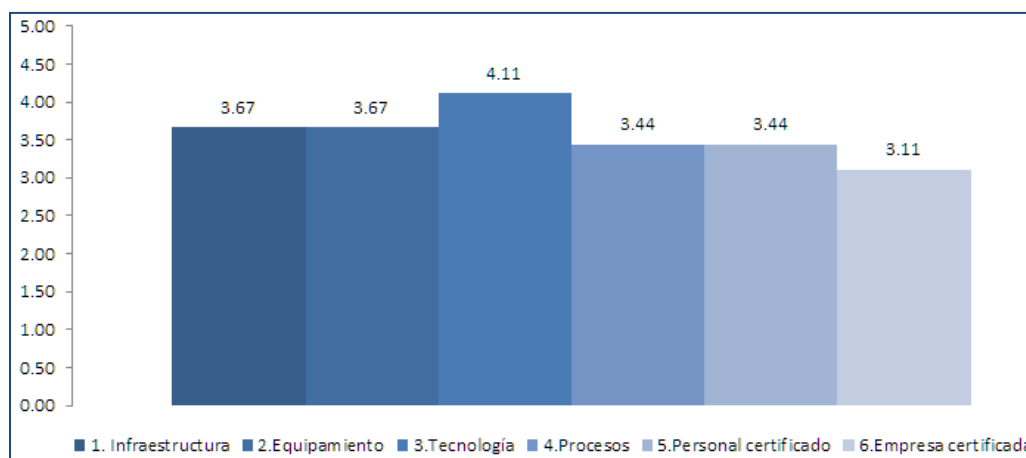


Figura 4. Se muestran los resultados cuantitativos de la auditoría externa a entidades económicas de TI. El Promedio general obtenido en la auditoría externa para una escala de 0-5.: 3.70.

Como medio de comparación y contraste para los datos cualitativos, se presenta esta grafica en que los proyectos sectoriales representan el camino que la industria clusterizada puede adoptar, en un entorno de legalidad y transparencia, para alinearse a los planes estratégicos

de las entidades económicas, como los proyectos PROSOFT relacionados con esta visión metodológica, para el estado de Colima, México.

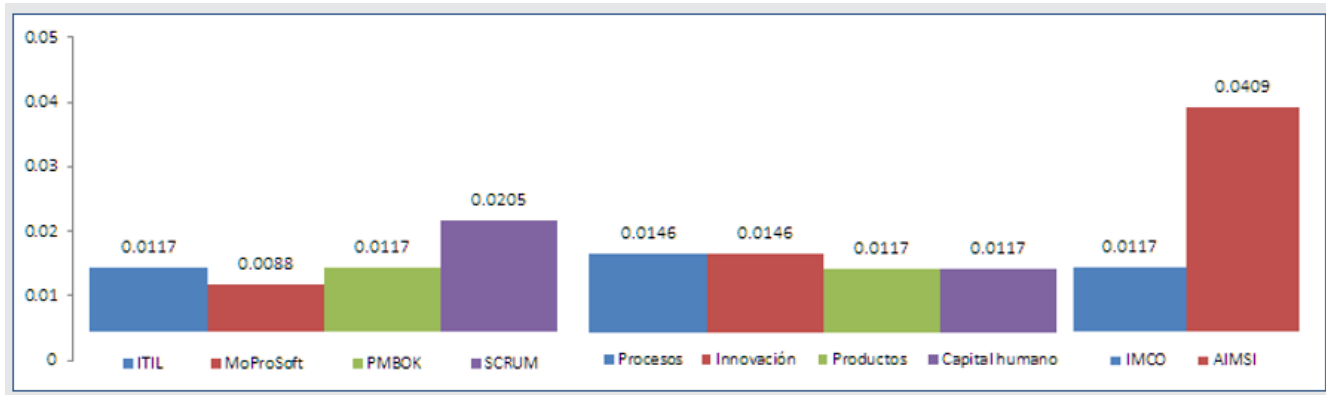


Figura 5. Los datos recabados por instrumento cuantitativo sobre metodologías innovadoras, procesos al interior de la organización y alianzas estratégicas organizacionales, confirman su simetría con los resultados derivados del análisis del discurso de orden cualitativo.

Lo anterior demuestra que el análisis de tipo cualitativo vs análisis cuantitativo, es tan útil, eficaz y provechoso para el conocimiento final y total (más completo) del constructo de investigación, que el autor a dispuesto a manera de colofón y prueba, con el mismo propósito.

Trabajo futuro

En análisis posteriores se recomienda realizar un estudio complementario basado en metodologías cuantitativas, que develen otras relaciones de valor y de juicio que den luz en configurar el constructo de la investigación propiamente, con fundamento en la propia triangulación de datos[10].

Conclusiones

Una vez obtenidos los resultados del apartado cualitativo de la investigación y basados en los patrones del discurso, triangulación y auditoría externa. Se puede inferir lo siguiente en relación a la muestra poblacional y objeto de estudio:

Estatus de las TI en el país o entidad.

Las TI se encuentran en rezago a nivel nacional

Existe éxito relativo en algunas entidades del país

Mediante el esfuerzo tripartita sustentado en la triple hélice, las TI pueden eventualmente desarrollarse

Gestión del capital humano.

El desarrollo del capital humano en TI se considera bajo en la entidad.

Las universidades y el gobierno deben tener la iniciativa.

Se debe financiar el capital humano mediante proyectos tipo PROSOFT.

Modelo de gestión de proyectos.

El mecanismo de la clusterización de la industria es ideal para la gestión de proyectos sectoriales.

Son pocas las empresas medianas y grandes en el país, falta impulso a su desarrollo mediante los fondos sectoriales.

Hay un área de oportunidad en el desarrollo de la industria de TI para funcionar como una fuerza transversal a la economía.

Metodologías innovadoras.

La calidad va muy relacionada con las buenas prácticas globales.

Los proyectos deben ir acompañados con metodologías innovadoras.

Se debe gestionar capital humano en TI con capacidades de desarrollar proyectos bajo metodologías de prácticas globales.

El papel de la industria de TI.

La industria de TI impulsa de manera transversal a la economía.

Las TI hacen más competitiva a las entidades económicas.

Existen países que han probado este modelo de desarrollo.

Referencias

- [1] F. C. Cabrera, "Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa," 2005.
- [2] H. Henao Delgado and Lucely. Villegas Villegas, *Investigación cualitativa*. Icfes, 1996.
- [3] P. S. J Taylor R Bogdan, "Introducción a los métodos cualitativos," 2000.
- [4] M. Okuda Benavides and C. Gómez-Restrepo, "Métodos en investigación cualitativa: triangulación," 2005.
- [5] M. M. Arias Valencia, "La triangulación metodológica sus principios, alcances y limitaciones," 2000.
- [6] R. de E. Belkys, "Investigación cualitativa, fundamentos y praxis," Caracas, 2014. [Online]. Available: http://listado.mercadolibre.com.ve/_CustId_84453555GARANTIZADO
- [7] Quecedo, Rosario, Castaño, and Carlos, "Introducción a la metodología de investigación cualitativa," 2002, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17501402>
- [8] D. San and M. Cantero, "Teoría fundamentada y Atlas TI: recursos metodológicos para la investigación educativa," 2014. [Online]. Available: <http://redie.uabc.mx/vol16no1/contenido-sanmartin.html>
- [9] B. y P. de T. Juan, "El método cualitativo de investigación desde la perspectiva de marketing: el caso de las universidades públicas de Madrid," 2014.
- [10] A. L. Strauss and J. M. Corbin, *Bases de la investigación cualitativa: técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundada*. Editorial Universidad de Antioquía, Facultad de Enfermería de la Universidad de Antioquía, 2002.

Automatización de procesos administrativos con Tecnología web para optimizar los servicios de una empresa Potosina

M. Gallegos López^{1*}, D.F. Reynoso Hernández¹, B. Guerrero Vázquez¹, E. Cerda Rodríguez², M.A. Ceballos Gómez³

¹Departamento de Sistemas y Computación, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Ave. Tecnológico S/N, Col. UPA, C.P. 78437, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí,

²Departamento de Ciencias Básicas, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Ave. Tecnológico S/N, Col. UPA, C.P. 78437, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí,

³Estudiante de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Departamento de Sistemas y Computación, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Ave. Tecnológico S/N, Col. UPA, C.P. 78437, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí,

*martha.gi@slp.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

La automatización de los procesos tiene un gran impacto en la mejora de las actividades realizadas en las empresas. Esta investigación aplicada tiene el objetivo de implementar un sistema de control administrativo eficiente usando tecnología web para una empresa en San Luis Potosí. Esta herramienta tecnológica, permite registrar el detalle de las actividades realizadas día con día, logrando con ello la automatización de sus procesos, ya que se desarrollaron los módulos de: inventarios, clientes y proveedores, registro de egresos, punto de venta y sistema de gestión de tickets; funcionalmente equiparable a las herramientas comerciales que existen actualmente en el mercado tales como SAP, Aspel, entre otras. Asimismo, la aplicación permite garantizar la calidad en el servicio al cliente, a través de encuestas de satisfacción.

Dicho sistema facilita la optimización de los servicios, permitiendo agilizar y aumentar la productividad de la empresa.

Palabras clave: Automatización, Tecnología web, Proceso Administrativo, Sistema de gestión de tickets.

Abstract

The automation of processes has a great impact on the improvement of the activities carried out in companies. This applied research has the objective of implementing an efficient administrative control system using web technology for a company in San Luis Potosí. This technological tool allows you to record the details of the activities carried out day by day, thus achieving the automation of your processes, since the modules of: inventories, customers and suppliers, record of expenses, point of sale and system were developed. ticket management; functionally comparable to the commercial tools that currently exist in the market such as SAP, Aspel, among others. Likewise, the application allows guaranteeing the quality of customer service, through satisfaction surveys. Said system facilitates the optimization of services, allowing to speed up and increase the productivity of the company.

Key words: Automation, Web Technology, Administrative Process, Ticket Management System.

Introducción

El proyecto tiene la finalidad de facilitar la administración de la empresa creando un sistema fácil de usar y eficiente, el cual está desarrollado e implementado con tecnologías web actuales, para garantizar su correcto funcionamiento y unificar la información y registros de todos los clientes y proveedores, así como tener también un control más eficiente de los inventarios, ingresos y egresos, y es usado y administrado por todos los trabajadores, pero delimitado según sus roles.

Hoy en día, son cada vez más las empresas que utilizan tecnologías de acceso libre para el desarrollo e implementación de aplicaciones web; por esta razón se optó por emplear dichas herramientas tecnológicas para

este proyecto, cuyo resultado es funcionalmente equiparable a las comerciales existentes en el mercado (SAP, Aspel, entre otras) y que representan una gran inversión para los empresarios.

La automatización de los procesos a través de las Tecnologías de la Información nos conduce al concepto de empresa digital o e-business. En la práctica se puede traducir como la implantación de las nuevas aplicaciones informáticas realizadas en los procesos de negocios empresariales, con el objetivo de extender la empresa y aprovechar las nuevas oportunidades de negocio, según lo indica [1].

En la actualidad las empresas no ven únicamente el servicio web como un mero escaparate o medio publicitario de enorme difusión. Internet, y en particular el servicio web, abre a las empresas enormes posibilidades. La utilización de tecnologías web permite agilizar los procesos, mejorar la productividad y aumentar la eficacia, además de abrir las puertas a nuevas formas de negocio en el mercado global que facilita Internet (e-business), como lo menciona [2].

Las diferentes tecnologías permiten crear interfaces de usuario y establecer las comunicaciones con el servidor, además de implementar comportamientos de la web en el servidor. Para el desarrollo de este proyecto se consideraron las siguientes tecnologías web actuales, de acuerdo con [3].

Tecnologías frontend o del lado del cliente. Son las que se ocupan de la creación de interfaces de usuario, y de establecer comunicaciones con el servidor. Entre ellas podemos encontrar las siguientes: [3]

- **JavaScript.** Este lenguaje de programación es multiplataforma, y permite dar una mayor interactividad y dinamismo a los sitios web: ya que crea tanto animaciones como objetos, localiza errores en formularios, cambia elementos web de manera intuitiva y crea cookies, etcétera.
- **HTML.** Es un lenguaje de programación usado para la creación de sitios web. Consiste en un conjunto de códigos cortos, que se clasifican como archivos de textos en las etiquetas.
- **CSS.** Es un lenguaje de diseño gráfico que sirve, entre otras muchas funciones, para indicar la representación visual de las estructuras HTML.

Tecnologías backend o del lado del servidor. Son las que se ocupan de la implementación de comportamientos de la web en el servidor. Entre ellas podemos encontrar las siguientes: [3]

- **PHP.** Se usa para la comunicación del sitio web con un servidor de datos. Es un lenguaje de programación de propósito general, es posible proceder a la recopilación de datos de formularios, la modificación de base de datos o la administración de archivos en el servidor [3].
- **MySQL.** Es una base de datos relacional y es un sistema gestor de bases de datos; trabaja con tablas múltiples que se interconectan entre sí, de manera que se asegura el correcto almacenaje y organización de toda la información extraída y se pueden realizar todo tipo de consultas [3].
- **Laravel.** Es el framework PHP más utilizado del momento. Su filosofía es crear código simple y elegante, según [4].
- **Git.** Es el sistema de control de versiones moderno más utilizado del mundo. Git es un proyecto de código abierto maduro y con mantenimiento activo. Git es diseñado con la principal prioridad de conservar la integridad del código fuente gestionado, como lo indica [5].

La conceptualización del proceso administrativo es la gestión de todos los recursos internos (talento humano, medios tecnológicos, capital financiero, etc.) de la forma más eficiente y eficaz posible para alcanzar los objetivos del negocio, como lo establece [6].

Es necesario integrar sistemas que brinden a la empresa herramientas automatizadas que faciliten la planificación, organización, dirección, integración del personal y control de los procesos empresariales en un entorno unificado, seguro y confiable, de acuerdo a [7].

Las herramientas tecnológicas han permitido facilitar, agilizar y automatizar los procesos administrativos. Asimismo, determina que, mediante las aplicaciones tecnológicas se facilita tanto el captar el dato en el lugar y el momento que éste se genere, como el acceder a la información donde y cuando se precise; la implementación de los sistemas ha venido mejorando los procesos en todas las actividades que desarrolla la empresa, lo hace más ágil, están cada vez más soportados, hace que cada área de la empresa este interconectada y sea más funcional [7].

En cuanto al sistema de gestión de tickets, lo define como una herramienta que permite el acceso a una cantidad ilimitada de solicitudes e incidentes, provenientes desde diferentes canales, para ser gestionados a través de una única interfaz; también menciona que permite cumplir con las expectativas y mejorar la experiencia del cliente. Además permite aumentar la productividad, disminuir los tiempos de respuesta y obtener muchos beneficios tangibles para la empresa. El objetivo de un sistema de tickets es tramitar y resolver dichas solicitudes e incidentes de acuerdo con su prioridad, asignando los responsables, rastreando y haciendo seguimiento al progreso de la resolución [8].

Previo a la implementación de este sistema, todos los procesos administrativos de la empresa (inventarios, clientes y proveedores, registro de egresos, punto de venta y sistema de gestión de tickets) se manejaban de manera aislada; lo cual provocaba duplicidad de la información, incremento de errores, pérdida de tiempo en la obtención de la información, entre otros.

Derivado de lo anterior, la base principal para la implementación del sistema de control administrativo con el uso de las tecnologías web, garantiza el buen funcionamiento de toda la empresa en sus actividades diarias; ya que actualmente la página web se encuentra disponible y en uso; dicho sistema, permite un control de clientes, y también automatizar procesos tanto generales como particulares de las ventas, de los tickets, de los inventarios y de los egresos. De los cuales se pueden obtener los reportes, como el cálculo de comisiones de sus vendedores, el balance de dinero en caja, entre otros, lo que eficientiza a la organización.

Generalmente, los sistemas de integración empresarial abarcan únicamente procesos como: inventarios, ventas, recursos humanos, proveedores, contabilidad y producción; mismos que, además de ser costosos, no cuentan con un sistema de gestión de tickets como tal; por tal motivo en este proyecto se considera este módulo con la finalidad de garantizar el mejor funcionamiento de la empresa para incrementar la productividad y mantener una mejor comunicación con los usuarios en la asignación de sus tareas; lo que proporciona un mayor rendimiento en las actividades diarias.

También el sistema web aporta un valor agregado, ya que permite conocer las experiencias del cliente con los servicios brindados, a través de las encuestas de satisfacción para la evaluación de los vendedores y medir la calidad de los servicios; así como también el sistema de gestión de tickets para aumentar la productividad y mejorar la comunicación con los vendedores.

Metodología

Para el desarrollo e implementación del sistema web de control administrativo en la empresa Potosina, se adoptó SCRUM, una metodología ágil para el desarrollo de software cuyas principales características son el trabajo colaborativo y la comunicación, además de ser un modelo incremental que permite obtener soluciones de manera ágil; otro beneficio es que, como el cliente forma parte del equipo de trabajo, la comunicación es constante y directa.

Scrum se define como un marco ligero que ayuda a las personas, los equipos y las organizaciones a generar valor a través de soluciones adaptativas para problemas complejos. El marco de Scrum, es lo opuesto a una gran colección de componentes obligatorios entretnejidos; implementa el método científico del empirismo y reemplaza un enfoque algorítmico programado por uno heurístico, con respeto por las personas y la autoorganización para lidiar con la imprevisibilidad y resolver problemas complejos, según [9].

Los creadores de Scrum, Ken Schwaber y Jeff Sutherland representan este marco en el siguiente gráfico, donde se visualiza desde la planificación hasta la entrega del software:

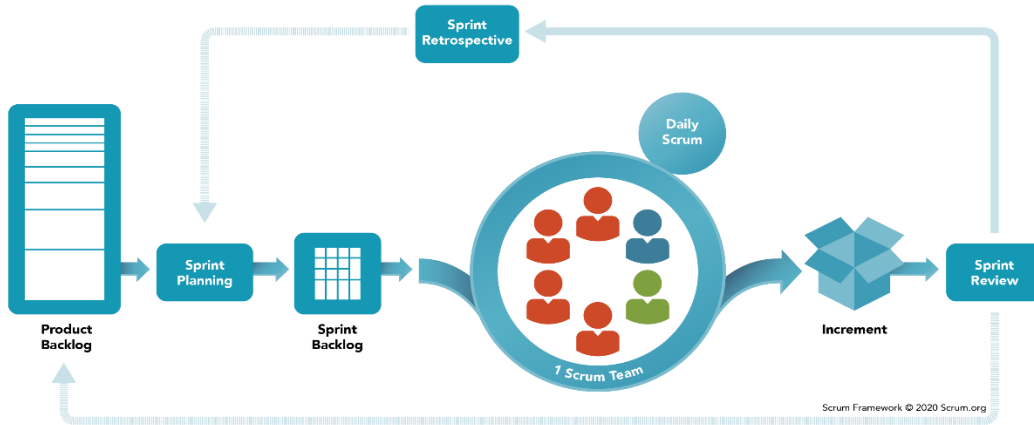


Figura 1. Scrum en acción.
 Fuente: Scrum.org

Básicamente, Scrum consiste en tres grandes etapas:

- 1) Planificación ó Product Backlog, aquí se determinan las tareas más apremiantes y se establece la manera en que se llevan a cabo, esto se hace con las conocidas como: historias de usuario, que no son otra cosa más que, la explicación de manera informal de las actividades desde el punto de vista del usuario final o en su caso, del cliente.

Para el desarrollo de este sistema, se inició con las historias de usuario, a través de entrevistas con las partes involucradas para pasar a la generación de los requisitos que debe cubrir el sistema para la satisfacción del cliente y posteriormente generar las tablas de información y sus relaciones para construir la Base de Datos. Un ejemplo de historia de usuario del proyecto, se presenta en la figura 2. En las figuras 3 y 4 se muestran los diagramas de Lenguaje Unificado de Modelado (UML) con el que quedan claras y entendibles los atributos y relaciones de las tablas entre sí.

Historia de usuario	
ID	MUGA07
Nombre	Ventas
Prioridad	Alta
Riesgo	Medio
Descripción	En mi punto de venta requiero que se puedan registrar las ventas realizadas, tanto de productos como servicios.
Validación	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Deseo que en la venta quede registrado el precio actual del producto o servicio. ✓ Deseo que la venta se diferencie por sucursal y por cliente. ✓ Deseo que la venta quede registrada a nombre del vendedor para obtener las comisiones. ✓ Deseo que los impuestos se calculen automáticamente.

Figura 2. Historia de usuario.
 Fuente: Elaboración propia.

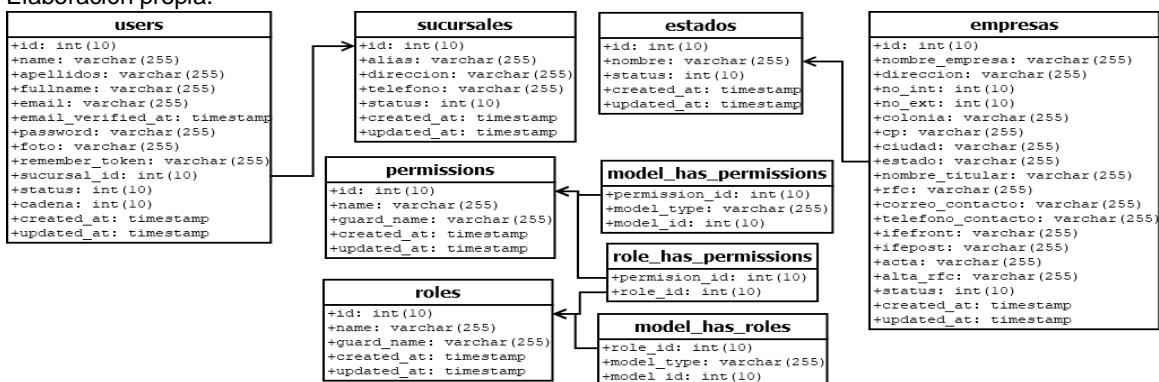


Figura 3. Diagramas UML de las tablas para la página principal.

Fuente: Elaboración propia.

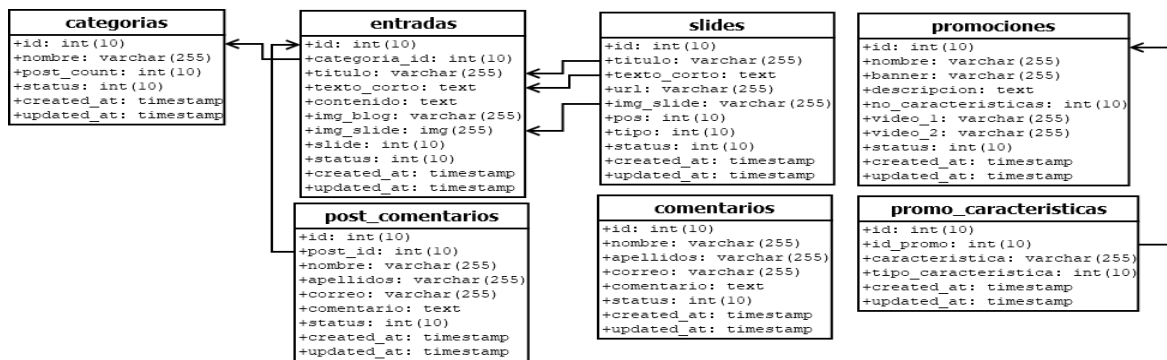


Figura 4. Diagramas UML de las tablas principales del sistema de control administrativo.
 Fuente: Elaboración propia.

- 2) Ejecución ó Sprint, es la parte más importante de Scrum, ya que es donde se produce el desarrollo del producto para obtener un entregable que, en el mejor de los casos, es definitivo. Es decir, se trata de un mini proyecto. La duración de cada Sprint es variable, pero se recomienda no exceder el mes de trabajo. Para el sistema web, el desarrollo comienza con la vista, ya que el framework laravel, una de las tecnologías web utilizadas, trabaja con MVC (Modelo – Vista – Controlador), en la que se incluye el formulario para desplegar o recuperar la información según sea el caso, buscando que todos los elementos resulten tanto amigables como intuitivos. Una vez que la vista es aceptada se procede al desarrollo formal del módulo en turno. En la figura 5, se representa la vista del módulo de ventas.

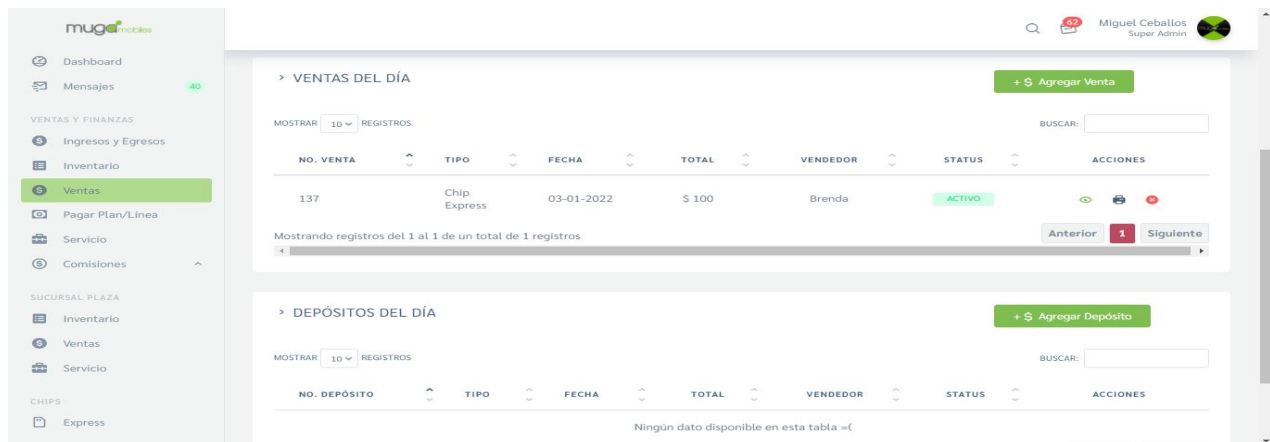


Figura 5. Parte de la vista del módulo ventas.
 Fuente: Elaboración propia.

- 3) Increment. Un Incremento es un peldaño concreto hacia el Objetivo del Producto. Cada Incremento se suma a todos los anteriores y se verifica exhaustivamente, lo que garantiza que todos funcionen juntos. Para proporcionar valor, el Incremento debe ser utilizable, de acuerdo a [10]. En esta etapa se determina el avance hacia el siguiente Sprint (siguiente mini proyecto), o bien, los ajustes al Sprint actual. Realizados todos los ajustes pertinentes, se obtiene un entregable como resultado. Una vez probadas las distintas funciones del módulo, se procede a mostrárselo al usuario del mismo y se le explica el funcionamiento, y en función de esto, se decide si se suben los cambios al servidor, o de lo contrario corregir los detalles que hayan salido durante su demostración para después volverlo a mostrar. La figura 6, muestra la interfaz principal del sistema:

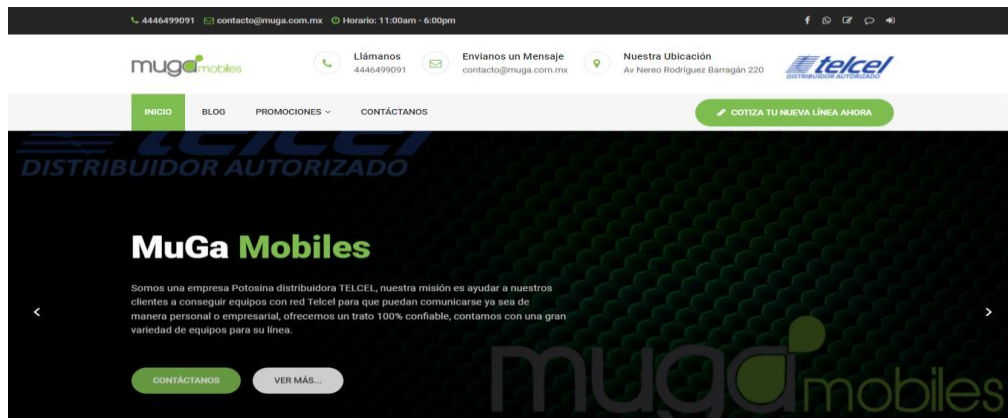


Figura 6. Entregable principal del sistema de control administrativo.
Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

Los resultados que se obtuvieron al implementar el Sistema web de control administrativo, le permitió a la empresa gestionar de forma eficiente toda la información de sus clientes, las ventas, los inventarios, egresos y sistema de tickets. El beneficio principal es la automatización de sus procesos, ya que actualmente dicho sistema web se encuentra en funcionamiento, ubicado en el siguiente Localizador de Recursos Uniforme (URL por sus siglas en inglés): <https://muga.com.mx/>.

El desarrollo del sistema web consta de dos partes; la primera es la página o vista principal en la que se presenta información útil para los clientes, en la que se encuentra un blog con distintas entradas y categorías, otro módulo de promociones, un módulo de contáctanos y el módulo referente a la encuesta de satisfacción del cliente, donde el vendedor es evaluado. La segunda parte, es todo el sistema administrativo que la empresa necesita, en el que se incluyen un dashboard (representación gráfica de las principales métricas) de un resumen mensual de las actividades que se han llevado a cabo y un menú de navegación lateral para poder acceder a los distintos módulos que componen el sistema administrativo (módulos de: usuarios, sucursales, empresas, clientes, inventarios, sistemas de tickets y punto de venta).

Parte 1. Desarrollo de la página web principal

Para acelerar el desarrollo del Frontend se hizo uso de una plantilla, así como del framework de Bootstrap para los estilos de los distintos componentes, de esta forma quedaron definidos el header y footer, ya que haciendo uso de la extensión "Blade" integrada en Laravel, que lo que hace es brindar la posibilidad de usar código PHP de una forma muy limpia y sencilla, y también de crear plantillas para de esta manera llamar las vistas que se muestran sin tener que escribir el mismo código más de una vez; esto se muestra en la figura 6.

Se diseñó también un blog, que incluye pequeños modelos de caja en el que se incluye la imagen del blog, su categoría, título y descripción corta, ordenados del más reciente al más antiguo y en el lado derecho en un pequeño navegador vertical se hizo un buscador y un menú de categorías y al final de la misma forma los posts más recientes, lo que se muestra en la figura 7. También se desarrolló el módulo de promociones, mostrado en la figura 8.

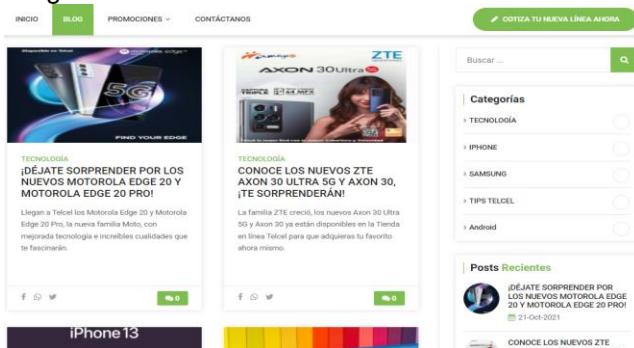


Figura 7. Vista del blog de la página principal.
Fuente: Elaboración propia.

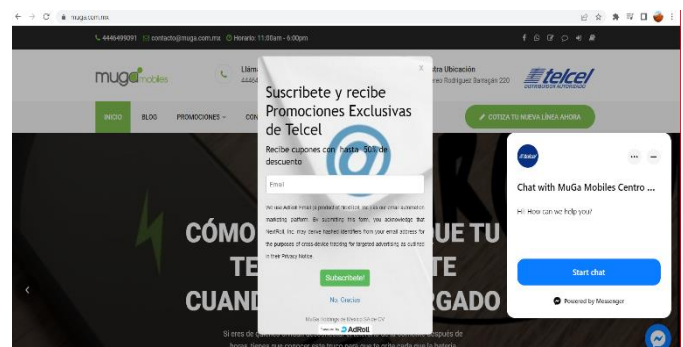


Figura 8. Vista del módulo de promociones.
Fuente: Elaboración propia.

Parte 2. Desarrollo del sistema web de control administrativo

Inicio de sesión

Para acceder a la parte administrativa del sistema donde se lleva el control de toda la empresa, se creó un módulo de inicio de sesión, donde se validan las credenciales de acceso y garantizan la seguridad de la información, figura 9.

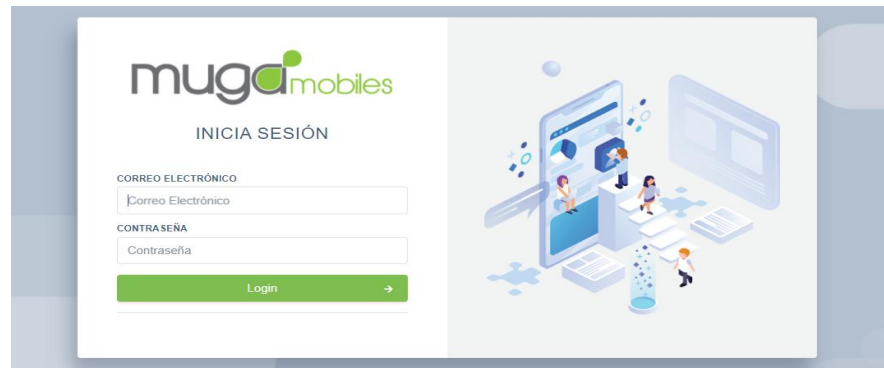


Figura 9. Vista del blog de la página principal.
Fuente: Elaboración propia

Los resultados finales del sistema web, se generaron a partir de la implementación de todos los módulos desarrollados con las tecnologías web mencionadas en la introducción de este documento. A continuación, se muestran algunas vistas de las interfaces que componen la página web.

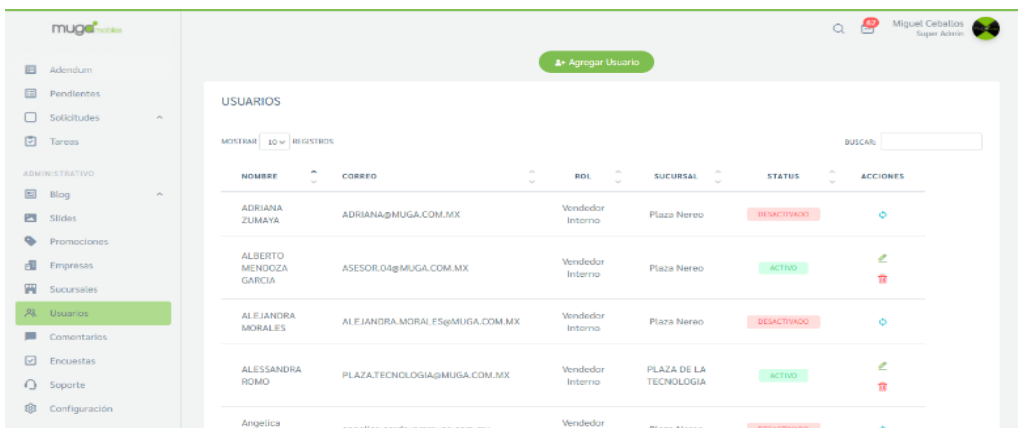


Figura 10. Vista del módulo Usuarios.
Fuente: Elaboración propia.

Módulo de usuarios

En este módulo se lleva a cabo la gestión de usuarios del sistema, se muestra una tabla con todos los usuarios registrados en la base de datos, estén activos o no, su información personal, su rol, y su sucursal; figura 10.

Módulo de Sucursales

En este módulo se gestiona la información de todas las sucursales con las que la empresa cuenta, se registran datos de la ubicación de la sucursal, dirección y teléfono; figura 11.

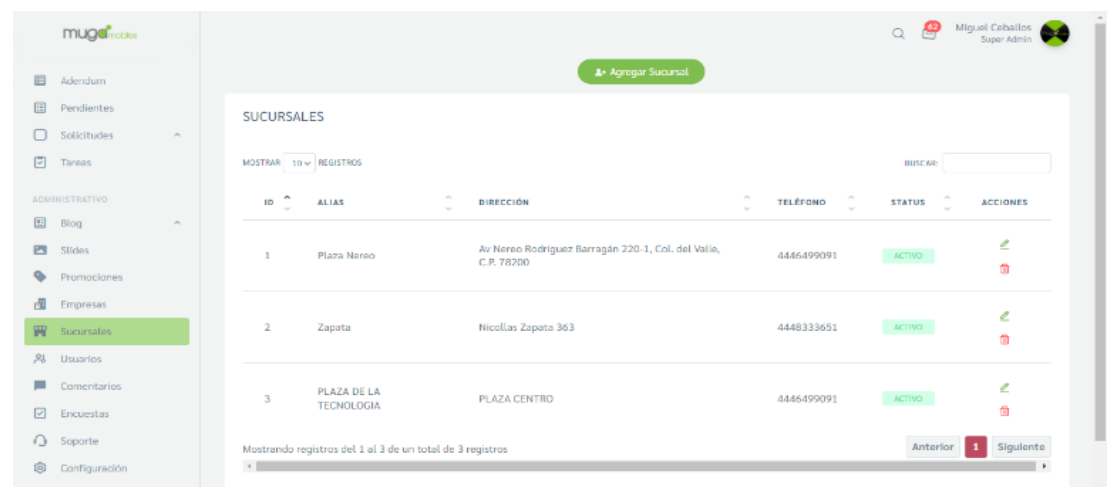


Figura 11. Vista del módulo Sucursales.
Fuente: Elaboración propia.

Módulo de inventarios

Este módulo está directamente relacionado con el de ventas, por lo que se necesitó crear un identificador único para cada producto que fue el SKU, el cual fue llevado a cabo usando la librería de “laravel-sku” realizada por el usuario “binary-cats; se generó el código de barras de cada producto utilizando la codificación C128, que tiene el soporte para letras y números. A cada producto se le asigna, una descripción del mismo, imágenes, precio de venta, precio de compra y el stock que se tiene; figura 12.

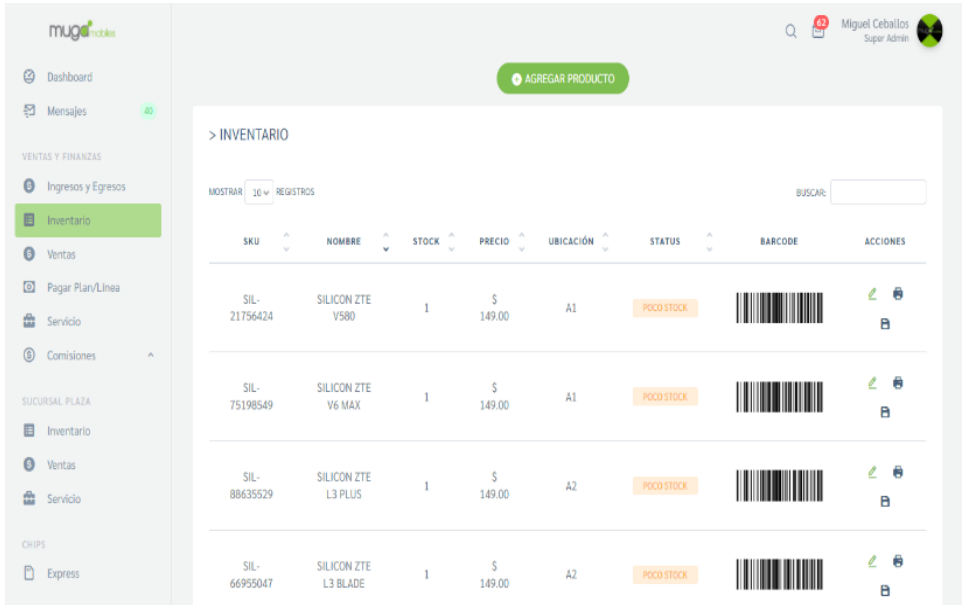


Figura 12. Vista del módulo Inventarios.
 Fuente: Elaboración propia.

Módulo de ventas

En este módulo se gestiona la información de todas las ventas, indicando que tipo de venta era la que se había realizado; además se asignan los depósitos del día; figura 13.

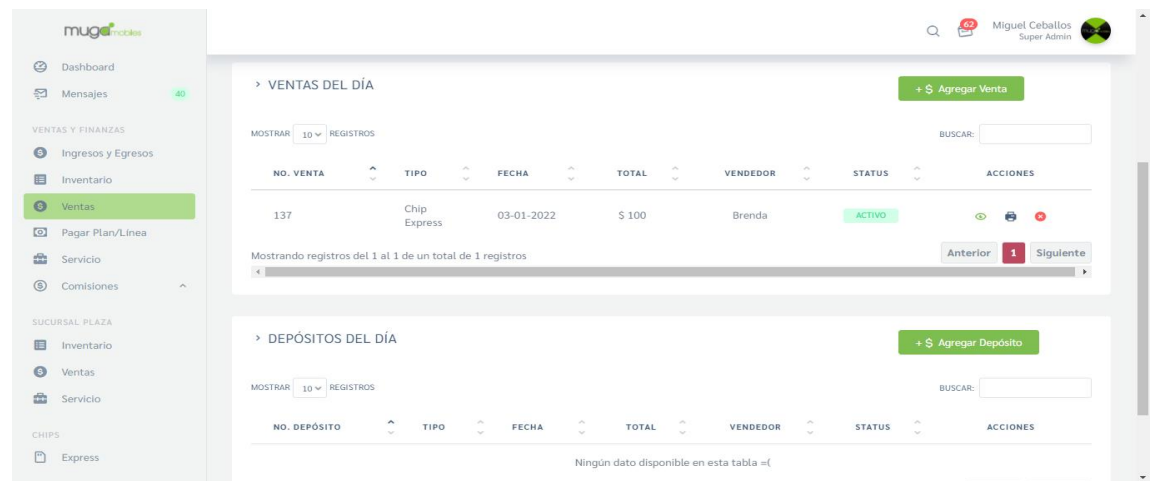
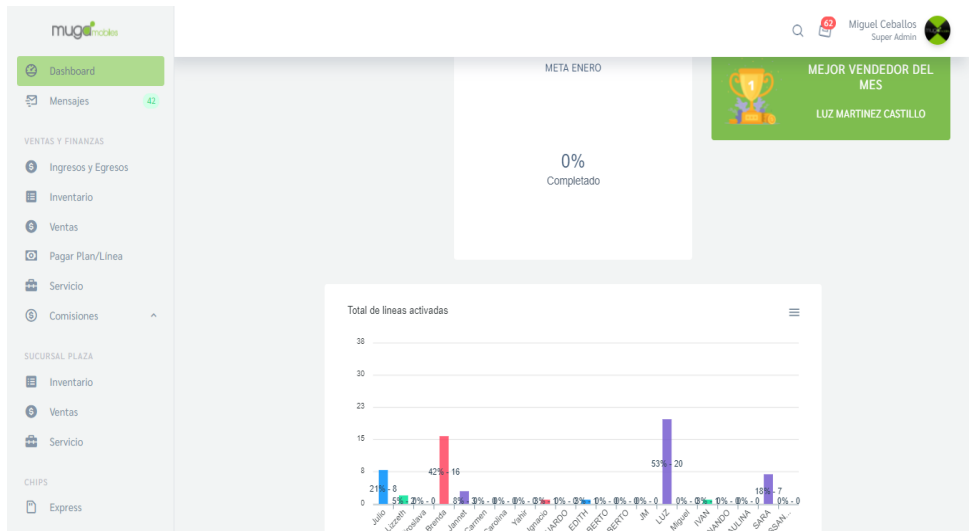


Figura 13. Vista del módulo Ventas.
 Fuente: Elaboración propia.



Se crearon tarjetas visuales para obtener de forma resumida las ventas y depósitos del día y también del mes, para obtener el balance del saldo que se encuentra en caja y facilitar las cuentas; figura 14.

Figura 14. Tarjetas visuales para calcular el balance en cajas.
 Fuente: Elaboración propia.



Creación del dashboard

Con la finalidad de identificar y categorizar las ventas se desarrolló el dashboard, donde se muestra un resumen del total de líneas vendidas y activadas durante el mes que se realizaron por cada vendedor. Se muestra una gráfica de barras (figura 15) en la que se puede observar el número de ventas totales de cada uno de los vendedores, lo que da una idea general de donde se encuentran respecto a la meta.

Figura 15. Parte de la vista del dashboard, resumen general.
 Fuente: Elaboración propia.

Sistema de Gestión de Tickets

Como se mencionó anteriormente, parte del valor agregado de este proyecto, es el módulo de gestión de tickets, que es controlado por el administrador general de la empresa o personal de la “Mesa de Servicio”; tiene la finalidad de dar seguimiento a las tareas o actividades asignadas a todo el personal.

El módulo permite determinar la prioridad de cada actividad (Alta, Media y Baja) y adjuntar archivos cuando sea necesario clarificar alguna de ellas. Es importante señalar que el término actividad en este proyecto se refiere a *solicitudes o incidentes*.

La vista final (figura 16) de este módulo, presenta una tabla en la que se puede apreciar: el número de tarea, el asunto, el usuario a quien fue asignada, el estatus de la misma, la fecha de actualización y un botón de acción para visualizar los detalles de la tarea que se seleccionó, dicha información se encuentra ordenada por fecha de actualización, mostrando primero la más reciente.

The screenshot shows a 'TAREAS' section with a 'CREAR TAREA' button and a search bar. Below is a table of tasks:

ID	ASUNTO	USUARIO	STATUS	FECHA DE ACTUALIZACION	ACCIONES
36	[Redacted]	Karla Lizzeth Muñoz Martínez	CONTESTADO-ADMIN	29/11/2021 (10:00)	[Eye icon]
9	[Redacted]	Karla Lizzeth Muñoz Martínez	NUEVO	23/02/2021 (14:08)	[Eye icon]
39	[Redacted]	Ignacio Muciño	VISUALIZADO	21/12/2021 (15:48)	[Eye icon]
7	[Redacted]	Karla Lizzeth Muñoz Martínez	NUEVO	18/02/2021 (17:43)	[Eye icon]
4	[Redacted]	Julio Muñoz	VISUALIZADO	17/02/2021 (00:33)	[Eye icon]

Figura 16. Parte de la vista del módulo de tickets.
 Fuente: Elaboración propia.

Trabajo a futuro

Con la implementación de este sistema web de control administrativo, se propone la posibilidad de trabajos futuros para el desarrollo e implementación de la información sobre recursos humanos, con el fin de integrar el registro: de los pagos de los empleados (percepciones y deducciones), de nuevas contrataciones y de asistencia (entrada y salida del personal); ya que actualmente la empresa no cuenta con ello.

Conclusiones

Son múltiples los beneficios de sistematizar un negocio en línea. La empresa Potosina, objeto de este proyecto, se ha visto beneficiada en muchos aspectos, entre los que destacan:

Eficiencia, ya que con la automatización se han mejorado los procesos, reduciendo errores y el consumo de recursos y, por lo tanto, la consecuente *Reducción de Costos*; *Rendimiento*, ya que la automatización ha permitido establecer la forma de realizar cada tarea, facilitando su realización; *Mejora de la Comunicación*, ya que, se recibe la información en tiempo real; *Alcance de Objetivos* y *Cumplimiento de Tiempos*, la automatización de procesos permite que las tareas se organicen y documenten de la mejor manera, esto hará que se eviten situaciones en las que ponerse al día significa dejar de hacer otras cosas igual de, o incluso, más importantes, además de liberar tiempo que puede ser empleado en otras actividades relevantes para la organización, además de arrojar resultados confiables; *Decisiones* asertivas y estratégicas, ya que se explota adecuadamente la información; *Optimización de inventarios*, reduciendo los costos asociados; *Satisfacción del cliente*, debido a que la información de los servicios y productos se encuentran disponibles 24/7.

Referencias

- [1] P. Alborés Cabaniña y R. Alonso Doval, Formación en Nuevas Tecnologías Dirigida a Directivos de Pymes. Conocimientos básicos que debe adquirir un directivo para aplicarlos eficazmente en su empresa, Vigo: Ideaspropias, 2005.
- [2] Á. Cobo, P. Gómez, D. Pérez y R. Rocha, PHP y MySQL Tecnología para el desarrollo de aplicaciones web, Santander: DiazdeSantos, 2015.
- [3] Proun, «Proun,» 29 10 2020. [En línea]. Available: <https://www.proun.es/blog/tecnologias-web-actuales/>. [Último acceso: 05 03 2022].
- [4] M. J. N. Ciceri Vazquez, Introducción a Laravel. Aplicaciones robustas y a gran escala, Buenos Aires: Six Ediciones, 2018, p. 320.
- [5] Bitbucket, «Atlassian,» [En línea]. Available: <https://www.atlassian.com/es/git/tutorials/what-is-git>. [Último acceso: 12 04 2022].
- [6] L. Blog, «Lemontech Blog,» 14 01 2020. [En línea]. Available: <https://blog.lemontech.com/agilizar-procesos-administrativo-de-una-empresa/>. [Último acceso: 12 05 2022].
- [7] A. L. González Ochoa, J. G. Machado Ramírez, M. E. Talavera Hernández y A. Sevilla Rizo, «Influencia de las TIC en el proceso administrativo,» *Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano*, nº 33, pp. 52-63, 2020.
- [8] D. Da Silva, «Zendesk,» 29 12 2021. [En línea]. Available: <https://www.zendesk.com.mx/blog/sistema-de-gestion-de-tickets/#:~:text=Un%20sistema%20de%20tickets%20es,trav%C3%A9s%20de%20una%20%C3%BAnica%20interfaz..> [Último acceso: 05 07 2022].
- [9] Scrum.org, «Scrum.org The Home of Scrum,» [En línea]. Available: <https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum>. [Último acceso: 06 05 2022].
- [10] S. GUIDES, «SCRUM GUIDES,» 2020. [En línea]. Available: <https://scrumguides.org/scrum-guide.html>. [Último acceso: 10 06 2022].

Impacto en las micro y pequeñas empresas de Tehuacán al establecimiento de la factura electrónica

Renato Emilio Ortiz Saucedo¹, Luis Carlos Ortuño Barba², Armando Heredia González³, Omar Alí Ortiz Arellano⁴

Área de participación: Ingeniería administrativa.

Resumen

El crecimiento económico depende en gran parte de las micro, pequeñas y medianas entidades (Mipymes), las que participan en un proceso de actualización tecnológica complicado para ellas, al tratar cumplir con cada uno de los requisitos fiscales que las obliga a elaborar sus facturas electrónicas. En la ciudad de Tehuacán, Puebla existen 205 unidades y se tomó una muestra de 134 de ellas, cuyos datos se analizaron con el software IBM SPSS Statistics. Por medio de la encuesta aplicada se obtuvieron los siguientes resultados; en lo que respecta al conocimiento de los requisitos que debe cumplir la facturación electrónica el 67.16% de los empresarios lo desconocen y en el proceso de emisión de la facturación electrónica el 75.4 % están parcialmente de acuerdo y el 9% está totalmente de acuerdo y en lo que respecta al ahorro de costos por dejar de utilizar los comprobantes impresos el 56% están totalmente de acuerdo, indicando los empresarios en un 69.4% del beneficio de su utilización.

Palabras clave: *actualización tecnológica, empresas, facturas electrónicas.*

Abstract

Economic growth depends largely on micro, small and medium-sized entities (MSMEs), which participate in a complicated technological update process for them, by trying to comply with each of the tax requirements that forces them to prepare their electronic invoices. In the city of Tehuacán, Puebla there are 205 units and a sample of 134 of them was taken, whose data were analyzed with the IBM SPSS Statistics software. Through the applied survey, the following results were obtained; with regard to knowledge of the process of issuing electronic invoicing, 75.4% partially agree and 9% fully agree and with regard to the cost savings of ceasing to use printed vouchers, 56% are totally in agreement, indicating the entrepreneurs in 69.4% of the benefit of their use.

¹ Maestro en Impuestos. Docente en el Departamento de Ciencias Económico Administrativas del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán, brunoortizsaucedo@yahoo.com.mx

² Doctor en Dirección y Finanzas. Docente en el Departamento de Ciencias Económico Administrativas del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán, lucaorba@gmail.com

³ Doctoren Ciencias en Planificación de Empresas y Desarrollo Regional. Docente en el Departamento de Ciencias Económico Administrativas del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán, aheredia2001@gmail.com

⁴ Maestro en Impuestos, renatoemilio.os@tehuacan.tecnm.mx

INTRODUCCIÓN.

Esta investigación tiene como finalidad demostrar cómo y cuál ha sido el impacto económico en las micro, pequeñas empresas, de la ciudad de Tehuacán, Puebla, así como el análisis de los beneficios que les ha brindado la facturación durante el tiempo que la han aplicado como parte de sus actividades económicas. De igual manera, pretende identificar las ventajas de cumplir con las obligaciones fiscales para aquellas empresas que aún no facturan, ya que pueden ser sujetas de sanciones económicas y penales de no llevarlas a cabo correctamente. A la vez, conocer cuáles son los factores y barreras que limitan el uso de la factura electrónica, a pesar de la disposición de sistemas gratuitos.

Con el fin de poder tener información sobre el tema se realizaron encuestas a los directores de empresas, las que se dividieron en dos grupos; pequeñas empresas que facturan, y las que no facturan.

Ante el brote de la pandemia causado por el virus SARS Cov-2, también conocido como COVID-19, surgió la necesidad de encuestar a las empresas para saber cómo es que la facturación electrónica afectó en el ámbito económico; como por ejemplo, si dejaron de facturar o si la cantidad de facturas emitidas disminuyó por los problemas económicos que se presentaron alrededor de la Ciudad, entre otras causas.

La interpretación de los resultados se realizó por medio de un análisis y representación gráfica.

El proyecto a desarrollar muestra el problema a resolver, la justificación, los objetivos a cumplir, y al final, surge la necesidad de presentar cómo realizar una factura electrónica a través del portal del SAT en el apartado Mis cuentas; con el fin de cumplir y evitar problemas con el Servicio de Administración Tributaria. De igual manera, se incluyen las conclusiones y referencias bibliográficas en las que se sustentó este trabajo.

Antecedentes

En las últimas décadas, las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones han transformado al mundo y acercado más, virtualmente, a las personas, permitiéndoles realizar transacciones comerciales de una forma más ágil y segura, todo esto influenciado por una economía global, la cual juega un papel muy importante para el desarrollo de los países. [1]

La historia de este instrumento data desde 1997 fecha en que un organismo llamado EAN/UCC (ahora GS1) realizó el diseño del "mapa" de la Factura Electrónica. En el año 2005 y gracias al impulso de la Asociación Mexicana de Estándares para el Comercio Electrónico (AMECE), la Factura Electrónica se consideró un Comprobante Fiscal Digital con validez ante el SAT. Más tarde, tras la adopción de código de barras (en los años 90), llegó la necesidad de darle validez legal a las

transacciones electrónicas". En 1997 inicio el proceso de reformar leyes como los códigos Civil, Mercantil y Penal y validar jurídicamente documentos electrónicos. [2]

La facturación electrónica es un mecanismo de comprobación fiscal que se basa en el aprovechamiento de medios electrónicos para la generación, procesamiento, transmisión y resguardo de los documentos fiscales de manera digital; antes de enero de 2004, todos los comprobantes que emitieran los contribuyentes por los actos o actividades que realizaban, debían ser impresos y autorizados por el SAT o por el propio contribuyente cuando obtenía autorización como auto impresor. Con la reforma al artículo 29 del Código Fiscal de la Federación, se dispuso a partir del 1 de enero de 2011, iniciara de manera paulatina su uso generalizado, con ello, los contribuyentes deben expedir documentos digitales como comprobantes por las actividades que realizan.

El SAT es uno de los tantos interesados en el desarrollo de los medios electrónicos, pues gracias a ellos podrán crearse servicios electrónicos que permitirán facilitar el comercio electrónico a los contribuyentes, así como cumplimiento de sus obligaciones de una manera ágil, sencilla, oportuna y con un costo bajo para el estado. Dependiendo del operador los costos de emitir cada factura oscilan entre \$30 y \$200 pesos. Estos operadores ofrecen paquetes de acuerdo con el número de documentos que la compañía requiera, es decir, que cobran por la validación de cada documento ya sean documentos enviados o documentos recibidos.

En términos generales, una compañía le paga al operador por costos de ida y vuelta, o sea por cada factura que debe validar para ser enviada y cada factura validada para ser recibida.

Así las cosas, una empresa que emite pocas facturas pero que sí recibe un número significativo por parte de sus proveedores, deberá incurrir en los costos de recibir dichos documentos.

Circunstancias que implican revisar el efecto económico sobre la compañía

METODOLOGÍA

El propósito del trabajo es conocer y saber que tan informados y capacitados están los administradores de las micro y pequeñas empresas y siguiendo la siguiente metodología; elaboración de un instrumento para la recopilación de la información y aplicando una encuesta de 30 preguntas, realizando un análisis de los resultados y elaboración de un informe final. Utilizando un paquete estadístico para ciencias sociales SPSS, para las pruebas estadísticas.

En esta clase de investigación se muestran, narran, reseñan o identifican hechos, situaciones, rasgos, características de un objeto de estudio, o se diseñan productos, guías, etcétera, pero no se dan explicaciones o razones de las situaciones, hechos, fenómenos, etcétera; esta investigación se guía por las preguntas de investigación que se formula el investigador, se soporta en técnicas como la encuesta, entrevista, observación y revisión documental [3]

La población y muestra

En esta investigación los grupos poblacionales a estudiar fueron las micro y pequeñas comerciales que existen en la Ciudad.

Para conocer la cantidad de empresas existentes registradas, se consultó el DENUE, del INEGI. [4] De acuerdo con la información arrojada, de las 205 micro, pequeñas empresas registradas, que se dedican al comercio al por mayor y al por menor.

La investigación es finita, ya que está delimitada por un número específico de empresas comerciales. Para establecer el tamaño óptimo de la muestra, se utilizó la fórmula del muestreo aleatorio simple, que se describe a continuación:

$$n = \frac{z^2 \cdot p \cdot qN}{e^2 (N - 1) + z^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde:

Población (N)	205
Nivel de confiabilidad	95%
Valor de la distribución	1.96 (z)
Margen de error	0.05 (e)
Porcentaje de aceptación	0.5 (p)
Porcentaje de no aceptación	0.5 (q)

$$n = \frac{1.96^2 \times 0.5 \times 0.5 \times 205}{.05^2 (205 - 1) + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}$$

De acuerdo con los cálculos realizados para la actividad empresarial, la muestra representativa corresponde a 134 empresas.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El objetivo de la investigación es conocer la percepción que tienen los empresarios de las micro y pequeñas empresas de Tehuacán en el proceso de implementación, estableciendo las siguientes variables "factura electrónica, servicio, competencias". Su medición se realizó mediante una evaluación sumaria utilizando una escala de likert.

Los procedimientos estadísticos de la información que se aplicó fue en el programa IBM SPSS Statistics, con lo que se creó, procesó y analizó una base de datos y se obtuvieron los resultados de la encuesta.

Algunas de las preguntas de investigación fueron:

Resultados y discusión

1.- Conoce los requisitos que debe cumplir una factura electrónica.
2.- Sabe cuál es la vigencia del certificado de sello digital para la autenticación de la factura electrónica.
3.- Conoce el proceso de emisión de la factura electrónica.
4.- Sus clientes solicitan la factura impresa, además de la electrónica.
5.- Ha observado un ahorro en costos por dejar de usar comprobantes impresos.
6.- Encuentra seguro facturar electrónicamente en comparación con la factura en papel.

7.- Identifica los beneficios de la factura electrónica.

Parámetro	Preguntas							Porcentaje							Porcentaje acumulado						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
No aplica (N/A)	15	23	8	6	5	4	8	11.19	17.16	5.97	4.47	3.73	2.98	5.97	11.19	17.16	5.97	4.47	3.73	2.98	5.97
En desacuerdo	90	19	13	17	13	16	8	67.16	14.18	9.70	12.69	9.7	11.94	5.97	78.35	31.34	15.67	17.16	13.43	14.92	11.94
Parcialmente de acuerdo	17	76	101	101	41	102	25	12.69	56.72	75.37	75.37	30.6	76.12	18.66	91.04	88.06	91.04	92.53	44.03	91.04	30.6
Totalmente de acuerdo	12	16	12	10	75	12	93	8.96	11.94	8.96	7.46	55.97	8.96	69.40	100	100	100	100	100	100	100
Total	134	134	134	134	134	134	134	100	100	100	100	100	100								

Fuente: Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la encuesta realizada

Por lo que respecta a la pregunta no.1 el 67.16% comentan desconocer los requisitos de una factura electrónica, el 12.69% está parcialmente de acuerdo y solo el 8.96% está totalmente de acuerdo, mientras que el 11.19% no supo qué responder. Tal vez las personas saben emitir una factura por existir una guía que les permite generarla; más no saben cuáles son los requisitos que debe de tener una factura.

Los empresarios indicaron en un 56.72% conocer parcialmente la vigencia del sello, y el 11.94% menciona si conocerlo en lo que se refiere a la pregunta no.2 tal vez aquellas personas que respondieron “No aplica”, no saben qué es un certificado de sello digital porque tan solo facturan y su labor se limita a eso; mientras que 14.18 % están en desacuerdo y desconocen de la vigencia de 4 años.

En relación a la pregunta no.3 indica que solamente 8.96% de los empresarios mencionaron conocer el proceso de emisión y el 75.37 % afirmaron conocerlo de manera parcial, existiendo un 9.70% de los empresarios que desconocen el proceso de emisión por falta de campañas de difusión por parte de las autoridades fiscales.

De la información obtenida de la pregunta no.4 se determinó que el 75.37% está parcialmente de acuerdo en que los clientes solicitan la factura impresa, mientras que el 7.46% representa que están totalmente de acuerdo y el 12.69% está en desacuerdo. Existen clientes que aún conservan las facturas impresas y las conservan en sus archivos, lo cual significa que no quedan conformes con el pdf y xml.

Por lo que se refiere a la pregunta no.5 el 55.97% está totalmente de acuerdo en que hubo un ahorro en costos, y siendo el 9.7% para las personas que están en desacuerdo, existiendo poco interés por parte de los empresarios en conocer dicha información. Esta pregunta se realizó con el fin de conocer qué tanto la facturación electrónica ha impactado en el bolsillo o dinero de las empresas. Como se puede ver en la tabla, la mayoría de las empresas están totalmente de acuerdo en que sí notaron un ahorro en el cambio de facturas impresas a electrónicas.

De acuerdo a la información recibida a la pregunta no.6 en relación a la seguridad del servicio de la facturación electrónica, la percepción es que el 8.96% de los empresarios están totalmente de

acuerdo que existe confianzas en su emisión, mientras que un 76.12% están parcialmente de acuerdo, y en desacuerdo un 11.94%; y por último El 69.4% de los directores manifestaron conocer los beneficios de la factura electrónica, mientras que el 18.66% parcialmente los conoce, el 5.97% los desconoce. Esta pregunta se realizó para comprobar qué tan convencidos se encuentran los empresarios del uso de la facturación electrónica.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo expresado por Verónica De León Estavillo al indicar que hay que propiciar el uso de las tecnologías de información y comunicación mediante esquemas que promuevan la gestión del conocimiento y su aplicación a través del diseño de esquemas de transferencia y asimilación de tecnología con la finalidad de llegar al desarrollo e implementación de competencias necesarias que fortalezcan la competitividad de las mismas. [5]

CONCLUSIÓN.

Al observar los comentarios de los propietarios de las micro y pequeñas empresas comerciales de Tehuacán, mediante las encuestas, destaca que el Servicio de Administración Tributaria (SAT) se encuentra coordinando con las diferentes cámaras de la industria y comercio el desarrollo e implementación de la factura electrónica.

Estableciéndose que la factura física ésta totalmente obsoleta, y los principales impactos que conlleva la facturación electrónica son los costos y adaptación en su implementación.

La facturación electrónica se puede realizar a través de un sistema de proveedores autorizados de certificación (PAC) o a través del sistema gratuito del SAT, teniendo la diferencia de mayores herramientas para personalizar y control de ellas, siendo válidas para efectos fiscales y totalmente digitales; sin embargo, al generar un archivo PDF existe la opción de poder imprimirlas si así lo requiere.

El desarrollo de la facturación electrónica permite una reducción de costos al remplazar los comprobantes tradicionales por documentos electrónicos, teniendo un incremento en la productividad, presentando una mejor calidad así como una mayor seguridad y comodidad para el cliente en lo que respecta a un servicio más ágil y seguro.

La aplicación de la facturación electrónica del apartado "Mis cuentas" de la plataforma del SAT, facilita al contribuyente a llevar un mejor control de facturas, además de ahorrar tiempo, papel y dinero a los contribuyentes.

Entre los puntos destacados podemos indicar la seguridad que representa la emisión de la factura electrónica y los beneficios que trae su utilización al almacenarse en la nube resguardadas en servidores de datos y poderlas consultar en cualquier momento; para concluir es importante precisar la necesidad de capacitación a las personas encargadas de la facturación electrónica y adaptarlos al nuevo sistema 4.0 para su correcta aplicación y que los encargados de las micro y pequeñas empresas se encuentran en un atraso en su proceso de facturación lo cual les crea incertidumbre al

no poder dar cumplimiento a todas y cada una de las obligaciones fiscales correspondientes a la facturación.

Agradecimientos

Reconozco la participación del alumno José Eduardo López Carrasco de la carrera de Contador Público del Instituto Tecnológico de Tehuacán, en la aplicación de las encuestas a los directores y encargados de las empresas de la Ciudad.

Referencias

- [1] J. López, «ABC para adoptar las facturas electrónicas,» *Expansión*, p. <http://expansion.mx/emprendedores/2013/08/07>, 2013.
- [2] J. López, ABC para adoptar facturas electrónicas, México: expansion.mx/emprendedores/2013/08/07, 2013, pp. <https://expansion.mx/emprendedores/2013/08/07/el-abc-para-emitir-facturas-electronicas>.
- [3] A. C. Bernal, Metodología de la investigación, <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-protecto-de-investigacion-F.G-Arias-2012-pdf.pdf>, Ed., Colombia: PEARSON, 2006, p. 113.
- [4] Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, México: INEGI, p. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>.
- [5] V. De León Estavillo, «Impacto de la implementación de la factura electrónica en las mipymes del sector comercio y servicios en México,» *Global de negocios*, p. 91, 2016.

Liderazgo y Productividad Laboral en los trabajadores de las Unidades Económicas; caso Atlautla y Ozumba.

A. Alonso Reyes^{1*}, J.L. Marín Villanueva¹

¹Departamento de la Licenciatura en Administración y Gestión Empresarial, Universidad Politécnica de Atlautla, carretera Atlautla-Ozumba No. 12, barrio San Jacinto, Municipio de Atlautla, Estado de México, C.P.56970.

[*lic.luismarin1@gmail.com](mailto:lic.luismarin1@gmail.com)

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

La presente investigación se efectuó en los municipios de Atlautla y Ozumba, Estado de México. Surge del problema de la escasa productividad de los trabajadores en las Unidades Económicas. Por ello, se formula la siguiente pregunta: ¿De qué manera el liderazgo incide en la productividad laboral en los trabajadores de las Unidades Económicas del Municipio de Atlautla y Ozumba, Estado de México, en el año 2022? El objetivo es identificar la incidencia que existe entre el liderazgo y la productividad laboral en los trabajadores a través de una correlación lineal, para determinar la permanencia de las Unidades Económicas en el mercado en el año 2022. La metodología de investigación es no experimental, con un alcance, descriptivo y de método mixto. El resultado de la correlación de Pearson mostró una relación alta positiva entre las variables de 0.897, con un coeficiente Alfa Cronbach fiable de 0.964, indicando que hay una relación directa positiva buena.

Palabras clave: Liderazgo, productividad laboral, correlación.

Abstract

This research was carried out in the townships of Atlautla and Ozumba, State of Mexico. The problem arises from the low productivity of workers in the Economics Units. Therefore, the following question is formulated: How does leadership affect labor productivity in the workers of the Economic Units of the township of Atlautla and Ozumba, State of Mexico, in 2022? The objective is to identify the incidence that exists between leadership and labor productivity in workers through a linear correlation to determine the permanence of the economic units in the market, in the year 2022. The research methodology is non-experimental, in scope, descriptive and mixed method. The Pearson Correlation result showed a high positive relationship between the variables of 0.897, with a reliable Alpha Cronbach coefficient of 0.964, indicating that there is a good positive direct relation.

Key words: Leadership, labor productivity, correlation.

Introducción

El término liderazgo ha sido estudiado a través del desarrollo del ser humano y de su conformación en grupos. Actualmente, juega un papel importante dentro de las organizaciones, ya que influye en el comportamiento de los empleados, debido a que, por medio de un buen liderazgo, se pueden obtener mejores resultados dentro de estas, gracias al esfuerzo de los seguidores. Para Münch [2015], el liderazgo es la habilidad de inspirar y guiar a los colaboradores hacia el logro de los objetivos y de la visión.

Robbins [2009] define al liderazgo como la aptitud para influir en un grupo hacia el logro de una visión o el establecimiento de metas. La fuente de esta influencia puede ser formal, como aquella que da la posición de una jerarquía directiva en una organización. Un gran porcentaje de microempresas en los municipios de Atlautla y Ozumba son empresas familiares, en donde el rol del dueño o emprendedor genera problemas debido a la ausencia de liderazgo, por lo que es necesario la presencia de este dentro de los negocios para que puedan tener mejores resultados, que es lo que se desea alcanzar. El hecho de influir en otras personas y de que estas te sigan, es ya una acción de liderazgo y viene a ser como el ejercicio de la autoridad, para que la gente, ya sea en grupo grande o pequeño, se oriente en conseguir una meta común, según lo dice Mauro [2003].

En este contexto, dentro de la presente investigación, se define al liderazgo como la capacidad de influencia sobre otras personas (trabajadores) para llevar a cabo actividades o funciones, y, así, conseguir los objetivos en forma motivante y con un compromiso compartido. Además de ello, como la práctica en la vida laboral y en diferentes estudios, es de gran importancia el liderazgo, ya que es un motor de influencia en el desarrollo de actividades,

pues: a) motiva al personal de la organización, b) trasmite ideas, planes, proyectos a los miembros de la organización, c) guía y dirige al personal de la organización y d) sirve para que la empresa siga operando con normalidad y permanencia. Estos aspectos son importantes, ya que generan un desarrollo productivo en las organizaciones cuando el enfoque del líder se sustenta en valores y en conocimientos de influencia. Sin embargo, es necesario hacer referencia que existen limitantes, debido a que estamos viviendo una crisis de autoridad, aunado a la falta de líderes honestos, responsables y congruentes con lo que dicen y hacen. Se identifica, pues, la siguiente problemática por la que están atravesando las Unidades Económicas de los municipios de Atlautla y Ozumba: crisis de autoridad, limitantes de una comunicación asertiva, falta de liderazgo proactivo o creativo, cambios culturales y organizaciones pequeñas o medianas empresas inmersas en la globalización. Aunque se podrían mencionar más limitantes, estas son algunas que inciden de mayor manera en el contexto de un liderazgo y generan un impacto negativo en los grupos de trabajo dentro de las Unidades Económicas.

Existen varios elementos determinantes de las características del liderazgo, mismas que se describen en la siguiente tabla.

Tabla No. 1. Características del liderazgo.

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Buen comunicador. ➤ Orientado a resultados. ➤ Flexible, adaptable, capaz de salir de esquemas mentales rígidos. ➤ Positivo, seguro, independiente, capaz de analizar en forma objetiva los hechos. ➤ Buen colaborador, habituado pensar de forma grupal y no individual. ➤ Honesto y sincero. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ambicioso, estimulado por una alta necesidad de logro. ➤ Afronta riesgos y sabe tomar decisiones. ➤ Responsable. ➤ Motivador. ➤ Creativo, innovador y progresista. ➤ Confianza, etc.
--	---

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla anterior, todo líder debe desarrollar habilidades para formar equipos de trabajo eficientes, eficaces y efectivos dentro de la organización. Estas habilidades son esenciales para cualquier director, gerente o toda persona que tenga subordinados a su cargo. Existen líderes que se consideran innatos en su formación y desarrollo personal o profesional, pues tienen esos dones que los hacen carismáticos; pero en otras ocasiones los líderes se van desarrollando en el transcurso de la vida laboral o a través de la experiencia. Ser un buen comunicador y tener la habilidad de convencer negociando y generando influencia en sus seguidores es un elemento necesario. Para Loya [2011], el liderazgo es la actitud que asumen los jefes para que sus colaboradores alcancen con entusiasmo los objetivos que les han sido encomendados. Por lo que un buen líder debe generar competencias enfocadas en el conocimiento, las habilidades y las actitudes.

Gil [2003] considera que el liderazgo organizacional es la habilidad de un individuo para influir, motivar y hacer que otras personas contribuyan a la eficacia y al éxito de la organización de la que son miembros. Al referir los estilos de liderazgo, es decir, la manera en cómo los líderes guían con sus colaboradores o trabajadores, teniendo ciertas características, de actuar, de motivar y de influir para el logro de objetivos, podemos mencionar algunos estilos de liderazgo que se desarrollan dentro de las organizaciones y que han sido estudiados por diversos autores. Algunos de ellos mencionan diversos estilos de liderazgo con relación al poder, considerando que estas formas de influir en sus seguidores o trabajadores no son limitativas al hacer o considerar solamente uno, sino al contrario, pues en ocasiones se pueden utilizar los diferentes estilos dependiendo la situación o las características del contexto; pero siempre uno es el dominante sobre otro. Sin embargo, la presente investigación se centra en estudiar cuatro estilos de liderazgo, con el propósito de identificar cuál es el tipo de liderazgo que incide en la productividad de los trabajadores de las Unidades Económicas de los municipios de Atlautla y Ozumba. Para ello, en la tabla No. 2 se describe cada uno.

Tabla No. 2. Tipología de liderazgos.

Liderazgo Autocrático	Liderazgo Democrático	Liderazgo Transformacional	Liderazgo Estratégico
Este estilo se caracteriza por la imposición, por dar órdenes y hacerse obedecer. La comunicación es descendente; el poder está	Es un estilo participativo; se da una comunicación descendente y ascendente; se da la oportunidad de que el trabajador manifieste y participe activamente. La	Es un estilo que se basa en intercambios entre el líder y los seguidores; es decir, supone ir más allá de conseguir acuerdos, elevando la ejecución y la	Es una combinación de habilidades, comportamientos, experiencias, conocimientos y perspectivas a

centralizado, así como las decisiones, y el trabajador o subordinado está sometido a la autoridad del líder, que debe obedecerse.	autoridad se delega y se da la responsabilidad en forma compartida.	moral de los implicados, por lo que se consigue una transformación, un cambio profundo y permanente.	diferentes niveles de gestión empresarial.
---	---	--	--

Fuente: Elaboración propia.

La figura del líder pasa de ser una autoridad a un modelo a seguir; es ahora uno más en los grupos de trabajo, con ciertas tareas y obligaciones diferentes. El obrero y el empleado ahora son más considerados en sus diferentes dimensiones; son los que hacen, los que piensan, los que proponen cambios, los responsables de la atención y satisfacción del cliente, Trejo [2014]. Por lo tanto, hoy en día las Unidades Económicas de los municipios de Atlautla y Ozumba necesitan más que nunca líderes estratégicos capaces de responder a retos, detectar y minimizar riesgos y encontrar nuevas oportunidades, ya que la alta dirección no cuenta con el perfil innovador en sus propuestas, no da la suficiente motivación a sus empleados y no tiene la capacidad de influir en los miembros de la organización, pues son microempresas familiares, en donde el rol del dueño o emprendedor genera problemas debido a la ausencia de liderazgo.

Para que el liderazgo estratégico se desarrolle de manera eficiente, el líder debe poseer ciertas características: a) buen comunicador; comparte ideas y deja que la información fluya, b) sabe delegar; responsabilidad distribuida, c) no tiene miedo al fracaso, d) sabe reconocer el talento y lo quiere en su empresa, e) es reflexivo y genera dialogo en la empresa y f) tiene inteligencia emocional y acepta sus límites; todo esto con la finalidad de hacer frente a los nuevos desafíos y retos que existen en la empresa, y que, por consecuente, se ve reflejado en su permanencia dentro del mercado. Worden [2020] asegura que, sin un liderazgo estratégico efectivo, las probabilidades de que una organización llegue a niveles superiores de desempeño en un entorno competitivo disminuyen considerablemente. Entonces, para que el liderazgo estratégico sea efectivo, el líder debe evaluar constantemente la eficacia de la empresa, por lo tanto, es indispensable realizar un comparativo de los indicadores del rendimiento actual con los resultados del rendimiento al periodo anterior, con la finalidad de implementar acciones de mejora (estrategias).

Cabe resaltar que en la actualidad existen teorías de liderazgo que se adaptan a las diferentes circunstancias que se presentan en el mercado y en ocasiones estas pueden influir de manera positiva o negativa. Entre ellas se encuentra la de los líderes transaccionales, el liderazgo inspirador y el liderazgo transformacional, esta última está enfocada en el cambio actual, en el cual las empresas dan frente a la globalización. Fernández [2017] plantea que el liderazgo transformacional se compone de cuatro dimensiones: a) influencia idealizada o carisma, lo que hace que los seguidores sientan un apego por su líder; b) motivación inspiradora, el líder transformacional logra transmitir visiones inspiradoras; c) consideración individual, modelo a seguir para los demás y d) estimulación intelectual, incentiva el pensamiento creativo y la solución de problemas a través de un pensamiento crítico y novedoso. De esta manera, las características principales de este tipo de liderazgo son el carisma, la inspiración, lo intelectual y la atención en el personal; lo que genera seguidores leales, con disposición y compromiso en fortalecer a la organización.

Hoy en día toda institución, empresa o negocio busca el desarrollo, hacer mejor sus productos o dar mejores servicios. Cuando con los recursos con los que se cuenta son materiales, capital, trabajo humano etc., se logra ser eficiente, se consigue ser productivo. En ese sentido, la productividad es el uso eficaz de la innovación y los recursos para aumentar el agregado añadido de productos y servicios, según Internacional Labour [2016]. Generar productividad se entiende como dar más con los mismos recursos, de acuerdo con Acción Consultores [2022]. Esto se suele representar con la siguiente fórmula:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producto}}{\text{Insumo}} = \frac{\text{Resultados logrados}}{\text{Recursos empleados}}$$

La productividad tiene gran relación con la calidad de los productos o servicios, teniendo en cuenta los materiales o insumos y el desarrollo de procesos adecuados para lograr el cometido. Desde el punto de vista social y económico, la productividad tiene gran relación con los directivos, gerentes, dueños o líderes que están al frente de las organizaciones y los elementos del talento humano y la forma de administrar; los ambientes laborales adecuados generan un aumento de productividad. Sin embargo, el concepto ha tenido variantes. Antes se pensaba que la productividad dependía de los factores trabajo y capital, no obstante, actualmente se sabe que

existe un gran número de elementos que afectan su comportamiento. Entre ellos se destacan la calidad de los recursos humanos, las inversiones, la razón capital/trabajo, la investigación y el desarrollo científico tecnológico, la globalización, la utilización de la capacidad instalada, las leyes y normas gubernamentales, las innovaciones tecnológicas, la forma de dirigir o liderar, etc.

Por ello, la motivación e influencia hacia el trabajo y el rendimiento que ayuden a generar productividad en los negocios establece la participación de los trabajadores en el logro de las metas que se culminarán con alcanzar la productividad. El concepto de productividad no es limitativo, tiene varios puntos de vista; sin embargo, la relación entre el líder, la satisfacción del trabajador, la satisfacción con los clientes y la productividad está vinculada entre sí. Existe productividad cuando se satisfacen los siguientes criterios: *objetivos*: medidas en que se alcanzan; *eficiencia*: la utilización de los recursos para generar un servicio o producto útil; *eficacia*: el resultado logrado frente al resultado posible y *comparabilidad*: el desempeño de la productividad a lo largo del tiempo. Aquí se debería incluir el vínculo entre estilo de liderazgo y trabajador, ya que este es la influencia e impulso para el logro de los puntos antes mencionados.

En México, un gran número de proyectos empresariales está conformado por los micronegocios, los cuales son el sustento económico de muchas familias, así como el origen de diversas fuentes de trabajo, inyectando capital a la económica nacional. Estos micronegocios en su ciclo de vida siguen permaneciendo como empresas familiares, limitadas en su número de trabajadores a máximo diez personas y en sus ventas anuales por debajo de los cuatro millones de pesos, como lo menciona el Diario Oficial de la Federación [2019]. Por tanto, los micronegocios tienen ciertas características que los limitan a tener una permanencia, crecimiento y desarrollo, tales como: administración empírica, falta de financiamiento, organización informal, costumbres culturales, miedo a la formalidad, falta de innovación y desarrollo y liderazgo centrado en el poder y en la autoridad, etc. No podemos generalizar, pero un gran número de micronegocios tienen una o varias de estas limitantes, las cuales ocasionan el cierre o el desplazamiento a nuevos emprendimientos. Una definición de micronegocio es la unidad económica conformada por no más de nueve personas, cuyo objetivo principal es desarrollar una actividad productiva para generar ingresos. Koontz [2013] alude que el liderazgo es un aspecto importante de la administración, pues ayuda a manejar los recursos de manera óptima para la consecución de objetivos empresariales. Las Unidades Económicas de los municipios de Atlautla y Ozumba están frecuentemente buscándolo tanto para su permanencia como para su crecimiento.

Los diferentes estilos de liderazgo influyen en la productividad. El líder, el jefe, el dueño o el gerente que establezca una influencia positiva, en forma innovadora, no centrado solo en el poder o la autoridad, generará mayor participación por parte de los trabajadores, dando como resultado mejor productividad. En la siguiente tabla se mencionan las cualidades de un jefe y un líder y cómo estas influyen en el desarrollo de la productividad.

Tabla No. 3. Cualidades de un jefe y un líder.

Jefe	Líder
Habla mucho.	Escucha mucho.
Dice.	Pregunta.
Presume.	Analiza.
Busca control.	Busca compromiso.
Ordena.	Desafía.
Asigna culpas.	Asume la responsabilidad.
Va a lo seguro.	Propone asumir riesgos.
Conserva su distancia.	Promueve contactos.
Quiere razones.	Busca resultados.
Pone el producto o el proceso primero.	Pone primero a las personas.
Solo espera resultados.	Genera productividad.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla anterior, el jefe y el líder tienen una gran influencia en el trabajo, ya que este se puede realizar de diferentes maneras y algunos trabajadores pueden ser más productivos que otros. Es posible que existan buenos jefes, mas no excelentes líderes, que afronten los cambios que se presentan actualmente y que se tienen que afrontar para que las Unidades Económicas sigan permaneciendo, teniendo una visión compartida y consolidándose para alcanzar nuevas metas.

Metodología

Diseño metodológico

La presente investigación se efectuó en los municipios de Atlautla y Ozumba, Estado de México. El tipo de investigación es no experimental, con alcance, descriptivo y de método mixto (cualitativo y cuantitativo), permitiendo de esta manera definir los criterios para la toma de acciones. Se tuvo una muestra de diez Unidades Económicas familiares que fueron elegidas aleatoriamente, mismas que se encuentran ubicadas en los municipios antes referidos, de tamaño micro y que pertenecen a los sectores de servicio y comercio. Asimismo, el número de Unidades Económicas seleccionadas por municipio fue de cinco, respectivamente.

La medición de las variables se realizó por medio de la aplicación de un cuestionario elaborado con treinta y dos ítems sobre liderazgo (16 ítems) y productividad laboral (16 ítems), el cual fue respondido por cada colaborador que se encuentra desempeñándose actualmente en su respectiva Unidad Económica. También, se pudo identificar y describir su comportamiento, ya que permite entender cómo los participantes de una investigación perciben los acontecimientos. De acuerdo con Bernal [2010], el método inductivo utiliza el razonamiento para llegar conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válido; la aplicación de estas conclusiones es de carácter general. Así mismo, se utilizó un enfoque de investigación de tipo cuantitativo debido a que las variables de estudio, así como la pregunta de investigación, se midieron en escala ordinal, de razón e interválica, mediante instrumentos con escala de tipo Likert. Se consideró de corte transversal y de asociación, ya que la recolección de la información se llevó a cabo en un solo momento para los empleados de las Unidades Económicas; además, el objetivo de la presente investigación fue buscar la relación que existe entre las variables.

Pregunta de investigación

La pregunta de investigación se formuló de la siguiente manera: ¿De qué manera el liderazgo incide en la productividad laboral en los trabajadores de las Unidades Económicas del Municipio de Atlautla y Ozumba, Estado de México, en el año 2022?

Hipótesis

Las hipótesis propuestas en el estudio fueron las siguientes:

H₁: El liderazgo incide significativamente en la productividad laboral en los trabajadores de las Unidades Económicas del Municipio de Atlautla y Ozumba, Estado México, en el año 2022.

H₀: El liderazgo no incide en la productividad laboral en los trabajadores de las Unidades Económicas del Municipio de Atlautla y Ozumba, Estado México, en el año 2022.

Nivel de investigación

La investigación correlacional tiene como propósito conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más categorías o variables en un contexto en particular. En cierta medida, tiene un valor explicativo, aunque parcial, ya que el hecho de saber que dos variables se relacionan aporta cierta información explicativa, Sampieri [2010]. Por ello, en la presente indagación se busca el grado de relación, de influencia que tienen las dos variables (liderazgo y productividad laboral), por esta razón se concluye que el nivel de la presente investigación es correlacional.

Operacionalización de variables

De acuerdo con Carrasco [2009], la operacionalización de variables es un proceso metodológico que consiste en descomponer deductivamente las variables que componen el problema de investigación, partiendo desde lo más general a lo más específico; es decir, que estas variables se dividen (si son complejas) en dimensiones, áreas, aspectos, indicadores, índices, subíndices, ítems; mientras, si son concretas, solamente en indicadores, índices e ítems.

Variable independiente

Liderazgo: se considera al liderazgo una fuente de ventaja competitiva cuando el líder es capaz de conseguir un impacto en el desempeño tanto colectivo como individual, impulsando la competitividad y productividad. Por este motivo, se tiene que considerar al liderazgo como un elemento dinámico que necesita ser contextualizado, según las exigencias que tiene una empresa y su entorno, Díaz [2019].

Variable dependiente

Productividad Laboral: en términos de empleados, es sinónimo de rendimiento, en un enfoque sistemático, se dice que se da cuando alguien es productivo con una cantidad de recursos (insumos) en un periodo de tiempo dado, obteniendo así el máximo de productos, Gutiérrez [2014].

Por lo anterior, se llevó a cabo la operacionalización de variables de la presente investigación, con el propósito de definir las dimensiones que se debían estudiar para identificar la correlaciones que existe entre ellas. En la tabla No.4 se muestra el desglose de cada dimensión con sus respectivos ítems.

Tabla No.4. Operacionalización de variables.

Variable	Dimensiones	Ítems	Instrumento
Liderazgo	Autocrático	1, 2, 3, 4	Cuestionario
	Democrático	5, 6, 7, 8	
	Transformacional	9, 10, 11, 12	
	Estratégico (capacidad de dirigir)	13, 14, 15, 16	
Productividad Laboral	Eficiencia laboral	17, 18, 19, 20	
	Eficacia laboral	21, 22, 23, 24	
	Capacitación	25, 26, 27, 28	
	Satisfacción	29, 30, 31, 32	

Fuente: Elaboración propia.

Técnica de obtención de datos

En el presente proyecto de investigación se utilizó la encuesta como un instrumento que consistió en identificar la incidencia que existe entre el liderazgo y la productividad laboral en los trabajadores, para determinar la permanencia de las Unidades Económicas en el mercado. Asimismo, se aplicó a sujetos de estudio que fueron seleccionados aleatoriamente en una muestra representativa de la población; además, todo esto permitió conocer las opiniones de cada colaborador que se encuentra trabajando actualmente en su Unidad Económica, así como el comportamiento de cada trabajador en su área correspondiente.

Instrumentos de recolección de datos

El cuestionario, según Samperi [2010], consiste en un conjunto de preguntas respecto de una o más variables a medir. Debe ser congruente con el planteamiento del problema y con la hipótesis. En ese sentido, el instrumento que se empleó en la presente investigación para la recopilación de datos fue el cuestionario tipo escala Likert.

Se contó con una relación de 32 ítems para determinar la incidencia que existe entre el liderazgo y la productividad laboral en los trabajadores y con ello determinar la permanencia de las Unidades Económicas en el mercado. El cuestionario fue aplicado al personal que conforma la muestra que se estudió, con el propósito de recabar información relevante para la presente investigación. El instrumento (cuestionario) empleó una escala de tipo Likert, de 1 a 5, con los criterios de: 1) Totalmente en desacuerdo, 2) En desacuerdo, 3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4) De acuerdo y 5) Totalmente de acuerdo, respectivamente. Por tanto, el instrumento que se utilizó estuvo compuesto por un conjunto de preguntas diseñadas para generar los datos necesarios y alcanzar el objetivo de estudio, mismo que se aplicó durante los meses de mayo y junio del año en curso, y con ello, obtener información de cada variable del estudio (objeto de estudio).

Validez y confiabilidad.

Se realizó la prueba de consistencia del instrumento con 32 ítems, mediante el estadístico Alfa de Cronbach, en la que se obtuvo $\alpha = 0.964$, confirmando así que el instrumento es altamente confiable y que resulta viable para su aplicación, como se puede observar en la tabla No.5.

Tabla No. 5. Estadística de fiabilidad.

Alfa de Cronbach	No. de elementos
.964	32

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, la validez del contenido se verificó mediante el criterio de tres expertos, quienes determinaron que los ítems que componen cada dimensión son pertinentes y suficientes. El análisis de las frecuencias se realizó a través variables agrupadas por cada dimensión.

Análisis de los datos

El procedimiento de los datos estadísticos se realizó mediante Microsoft Excel y el programa SPSS® 25.0 para Windows®; se llevó a cabo el concentrado de la información recabada en una base de datos de Excel conforme a la información recabada en el instrumento. Posteriormente, se empleó el programa SPSS® 25.0 para Windows®. Se efectuaron diferentes tipos de análisis, siendo el primero el alfa Cronbach, el análisis de medias para conocer el nivel de percepción y la correlación bivariada de Pearson para determinar la correlación que existe entre las variables de estudio.

Resultados y discusión

En la tabla No. 6 se presentan los resultados del análisis de correlación entre las variables liderazgo y productividad laboral en los trabajadores de las Unidades Económicas. Se observa que el coeficiente de correlación de Pearson es de .897, esto significa que existe una relación significativa positiva buena, es decir, que las variables de estudio se correlacionan directamente. Además de ello, el liderazgo incide significativamente en la productividad laboral, por lo que depende mucho de que las Unidades Económicas de los municipios de Atlautla y Ozumba permanezcan activas en el mercado.

Tabla No. 6. correlación de variables: liderazgo y productividad laboral.

	VI (Liderazgo)	VD (Productividad Laboral)
Correlación de Pearson	1	.897**
Sig. (bilateral)		.000
N	10	10
Correlación de Pearson	.897**	1
Sig. (bilateral)	.000	
N	10	10

** La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

Fuente: elaboración propia.

A continuación, en las siguientes tablas se muestra la relación que existe entre cada una de las dimensiones del liderazgo y la productividad laboral en los trabajadores de las Unidades Económicas del municipio de Atlautla y Ozumba, Estado de México.

Tabla No. 7. Análisis de correlación de la dimensión uno: liderazgo autocrático y productividad laboral.

Correlaciones		Autocrático	Productividad Laboral
Autocrático	Correlación de Pearson	1	.720*
	Sig. (bilateral)		.019
	N	10	10
Productividad Laboral	Correlación de Pearson	.720*	1
	Sig. (bilateral)	.019	
	N	10	10

*. La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral).

Fuente: elaboración propia.

Se observa que el coeficiente de correlación de Pearson es de .720, esto indica que existe una correlación positiva moderada. Además, el estadístico de la prueba de hipótesis (p -valor=.019) es menor que el nivel de significancia ($\alpha=5\%$), por lo que se puede afirmar que existe relación entre el liderazgo autocrático y la productividad laboral en los trabajadores de las Unidades Económicas del municipio de Atlautla y Ozumba, Estado de México.

Tabla No. 8. Análisis de correlación entre la dimensión dos: liderazgo democrático y productividad laboral.

		Correlaciones	
		Democrático	Productividad Laboral
Democrático	Correlación de Pearson	1	.720*
	Sig. (bilateral)		.019
	N	10	10
Productividad Laboral	Correlación de Pearson	.720*	1
	Sig. (bilateral)	.019	
	N	10	10

*. La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral).

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la dimensión dos, liderazgo democrático, sí existe una relación positiva moderada con la productividad, puesto que el coeficiente de Pearson es .720; el estadístico de la prueba de hipótesis (p-valor=.019) es menor que el nivel de significancia ($\alpha=5\%$), por lo que se puede afirmar que existe relación entre el liderazgo autocrático y la productividad laboral en los trabajadores de las respectivas Unidades Económicas.

Tabla No. 9. Análisis de correlación entre la dimensión tres: liderazgo transformacional y productividad laboral.

		Correlaciones	
		Transformacional	Productividad Laboral
Transformacional	Correlación de Pearson	1	.731*
	Sig. (bilateral)		.016
	N	10	10
Productividad Laboral	Correlación de Pearson	.731*	1
	Sig. (bilateral)	.016	
	N	10	10

*. La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral).

Fuente: elaboración propia.

En la dimensión tres, liderazgo transformacional, existe una relación positiva moderada con la productividad, puesto que el coeficiente de Pearson es .735; el estadístico de la prueba de hipótesis (p-valor=.016) es menor que el nivel de significancia ($\alpha=5\%$), por lo que se puede afirmar que existe relación entre el liderazgo transformacional y la productividad laboral en los trabajadores de las correspondientes Unidades Económicas.

Tabla No. 10. Análisis de correlación entre la dimensión cuatro: liderazgo estratégico (capacidad de dirigir) y productividad laboral.

		Correlaciones	
		Estratégico (Capacidad de dirigir)	Productividad Laboral
Estratégico (Capacidad de dirigir)	Correlación de Pearson	1	.867**
	Sig. (bilateral)		.001
	N	10	10
Productividad Laboral	Correlación de Pearson	.867**	1
	Sig. (bilateral)	.001	
	N	10	10

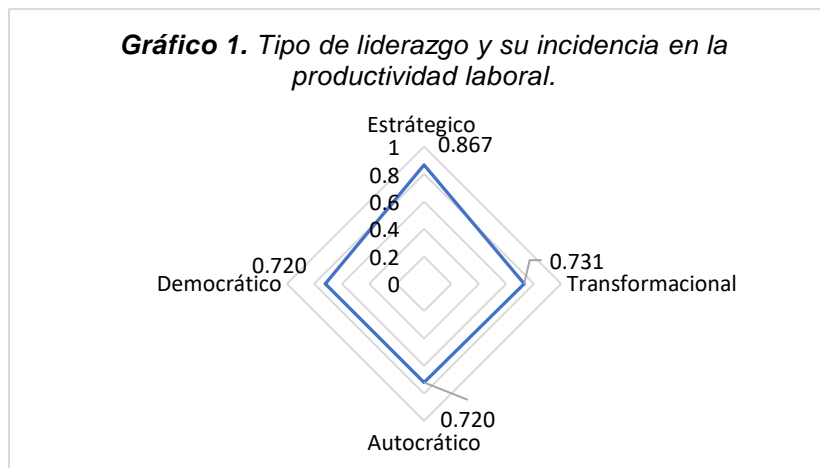
**.. La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la dimensión cuatro, liderazgo estratégico (capacidad de dirigir), existe una relación positiva buena con la productividad, puesto que el coeficiente de Pearson es .867; el estadístico de la prueba de hipótesis (p-valor=.001) es menor que el nivel de significancia ($\alpha=1\%$), por lo que, se puede afirmar que existe relación entre

el liderazgo estratégico (capacidad de dirigir) y la productividad laboral en los trabajadores de las Unidades Económicas correspondientes.

Para concluir este apartado, en el gráfico 1 se puede observar que el tipo de liderazgo estratégico-capacidad de dirigir (0.867) es uno de los principales factores que incide de manera significativa sobre la productividad laboral en los trabajadores de las Unidades Económicas de los municipios de Atlautla y Ozumba, Estado de México, seguido del liderazgo transformacional (0.731) y, no menos importante, pero que también tienen incidencia, el autocrático (0.720) y el democrático (0.720), respectivamente. Como lo demuestran los resultados estadísticos obtenidos por el coeficiente de correlación de Pearson, a mayor aplicación de tipos de liderazgo, mayor será el nivel de productividad de los trabajadores de las Unidades Económicas de los municipios de Atlautla y Ozumba, Estado México.



Trabajo a futuro

En el proyecto de investigación hace falta correlacionar el desarrollo organizacional con enfoque en las relaciones personales y profesionales para verificar si existe relación entre ellas. Por otra parte, tiene como propósito determinar estrategias y medidas planificadas para que sean implementadas en las Unidades Económicas y con ello fomentar su funcionamiento y potenciar su crecimiento dentro del mercado competitivo actual. Además de esto, el presente estudio podría hacerse extensivo a otras Unidades Económicas del mismo giro, con el objetivo de efectuar un comparativo entre ellas y contrastar si existen discrepancias entre los grupos estudiados.

Conclusiones

El objetivo de este artículo se centró en identificar la incidencia que existe entre el liderazgo y la productividad laboral en los trabajadores de las Unidades Económicas para determinar su permanencia en el mercado. Se ha observado que el resultado del coeficiente de correlación de Pearson es de .897; por lo tanto, significa que existe una relación significativa positiva buena, es decir, que las variables de estudio se correlacionan directamente. Además de ello, el liderazgo incide significativamente en la productividad laboral, por lo que depende mucho de que las Unidades Económicas de los municipios de Atlautla y Ozumba permanezcan activas en el mercado.

Así mismo, el tipo de liderazgo estratégico-capacidad de dirigir es uno de los principales factores que incide de manera significativa sobre la productividad laboral en los trabajadores, es decir, a mayor aplicación de este tipo de liderazgo, mayor será el nivel de productividad. Por ello, es importante que el líder asuma la responsabilidad de establecer metas y objetivos que se esperan alcanzar como equipo de trabajo, así como dividir las tareas que cada integrante deba realizar. No obstante, para potenciar la productividad dentro de las Unidades Económicas es ineludible hacerse de los mejores talentos, para lograrlo, se debe contratar a profesionales capaces de aportar ideas y que además posean aptitudes que aporten al crecimiento y, por consecuente, a la permanencia de la Unidad Económica.

En cuanto a la hipótesis de investigación, se pudo demostrar que en los resultados, en términos de productividad dentro de las Unidades Económicas de los municipios de Atlautla y Ozumba, Estado de México, sí incide significativamente el liderazgo que se ejerce sobre los trabajadores, ya que tanto diversos estudios como otros autores respaldan la presente investigación, pues demuestran que el estilo de liderazgo afecta de manera directa en la productividad. Por tanto, se rechaza la hipótesis alternativa.

Para finalizar, los líderes de estas Unidades Económicas deben ser capaces de proyectar claridad, credibilidad y confianza hacia sus empleados en medio de situaciones estresantes e inciertas, lo que se convierte en un desafío en el nuevo mundo de trabajo que existe actualmente.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Politécnica de Atlautla por su apoyo para la ejecución de este proyecto.

Referencias

- [1] Münch, L. (2015). Liderazgo y Dirección. México: Trillas.
- [2] Robbins, S. (2009). Comportamiento Organizacional. México: Pearson.
- [3] Mauro. (2003). El camino del líder. México: Rincón.[4]
- [4] Loya, L. (2011). Liderazgo en el comportamiento organizacional. Salvador: Trillas.
- [5] Gil, F. (2003). Análisis transcultural del liderazgo organizacional. México: Globe.
- [6] Trejo, R. (2014). Liderazgo en una empresa gubernamental: una propuesta de medición. México. Recuperado el 25 de mayo de 2022, de <http://132.248.9.195/ptd2014/febrero/0708697/0708697.pdf>
- [7] Worden, S. (2020) El papel de la integridad como mediador en el liderazgo estratégico: una receta para el capital reputacional. Recupero el 8 de mayo de 2022, de <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/liderazgo-estrategico-y-sus-principales-ventajas>.
- [8] Fernández, M. (2017). Liderazgo transformacional y transaccional en emprendedores. Revista Venezolana de Gerencia, vol. 22, 6.
- [9] Acción consultores. (09 de 07 de 2022). Producción. Obtenido de http://www.cca.org.mx/cca/cursos/administracion/artra/produccion/objetivo/7.1.1/ppal_prod.htm
- [10] International Labour Office. (2016). En Mejora su negocio: El recurso humano y la productividad. Ginebra: OIT.
- [11] SEGOB. (09 de 08 de 2022). Diario Oficial de la Federación 2019. Obtenido de https://www.dof.gob.mx/index_113.php?year=2019&month=12&day=06#gsc.tab=0
- [12] Koontz, H. (2022). Administración, una perspectiva global y empresarial. México: McGrawHill.
- [13] Bernal, C. (2010). Metodología de la Investigación. Bogota, Colombia: Pearson.
- [14] Sampieri, R. (2010). Metodología de la Investigación (10 ed.). México: McGraw Hill.
- [15] Carrasco, S. (2009). Metodología de investigación científica: Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación. Lima: Editorial San Marcos.
- [16] Díaz, C. (2019). Liderazgo: Consideraciones sobre su Conceptualización, Evolución y Retos ante la Nueva Realidad Organizacional. Revista De Economía & Administración, XV(1), 73. Recuperado el 20 de Julio de 2022, de <https://revistas.uao.edu.co/ojs/index.php/REYA/article/view/47/41>
- [17] Gutiérrez, H. (2014). Calidad y productividad. México: Mc Graw Hill.

La innovación desde la Plataforma Dimensions.ai

Gisela Janeth Espinosa Martínez¹, Margarita Dávila Hernández², Samuel Garrido Roldán³
Tecnológico de Estudios superiores de Coacalco¹, gisela.sub.a@tesco.edu.mx¹, Tecnológico de Estudios superiores
de Coacalco², margarita.sub.a@tesco.edu.mx², Tecnológico de Estudios superiores de Coacalco³,
samuel.sub.a@tesco.edu.mx³

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

El objetivo es mostrar la búsqueda de información mediante la plataforma Dimensions.ai que es una base de datos en línea gratis, con la información que tiene esta base de datos se revisan los elementos básicos de la innovación paso a paso; dicha plataforma proporciona información de muy diversos temas, abarcando en este caso el tema de innovación. De acuerdo a lo presentado en la plataforma Dimensions.ai, la innovación tiene una larga trayectoria, ha sido abordado por estudiosos desde finales de los años 1800's. A lo que se llega en esta investigación es que la plataforma facilita la búsqueda de la información y el acceso a la misma es muy práctica.

Palabras clave: Innovación, base de datos y Plataforma Dimensions.ai

Abstract

The objective is to show the search for information through the Dimensions.ai platform, which is a free online database, with the information that this database has, the basic elements of innovation are reviewed step by step; This platform provides information on very diverse topics, in this case covering the topic of innovation. According to what is presented in the Dimensions ai platform, innovation has a long history, it has been addressed by scholars since the late 1800's. What is reached in this research is that the platform facilitates the search for information and access to it is very practical.

Key words: Innovation, Database and Platform Dimensions.ai

Introducción

La innovación es un cambio que supone una novedad. Esta palabra procede del latín innovatĭo, -ōnis que a su vez se deriva del término innovo, are ('hacer nuevo', 'renovar'), que se forma con in- ("hacia dentro") y novus ("nuevo") [1]. A lo largo de la revisión del término de innovación, se ha demostrado que todo surge de una idea y cuando esa idea se socializa, se convierte en innovación. En 1912, Joseph Schumpeter definió la innovación como la introducción exitosa de un producto nuevo o una nueva práctica productiva en el mercado, que desplaza productos y/o prácticas obsoletas que permiten procesos recurrentes de lo que denominó "destrucción creativa"[2]. Una innovación es la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar o las relaciones exteriores [3]. Los tipos de innovación son los siguientes:

Tabla 1. Tipos de innovación

Tipo de innovación	Autor
Innovación de producto	
Innovación de proceso	Manual de Oslo [3]
Innovación de mercadotecnia	
Innovación de organización	
Innovación radical	De acuerdo Originalidad impacto
Innovación incremental	
Innovación Modelo de negocio	De acuerdo a su configuración
Innovación en red	
Innovación de estructura	
Innovación por rendimiento	De acuerdo a la oferta
Innovación de sistema	
Innovación de servicio	experiencia
Innovación de canales	
Innovación disruptiva	

Lo anterior sería la forma tradicional de obtener la información, sin utilizar una base de datos, sino metiéndose directamente en un buscador como Google, internet explorer, entre otros, o buscando en diferentes bases de datos, pero ésta plataforma es práctica, tiene una cobertura amplia como se muestra en la Figura 2. Pero como investigadores se debe encontrar la estrategia de facilitar la obtención de información y para ello en esta investigación se muestra la utilización de una plataforma llamada Dimensions.ai; la cual se puede consultar con la siguiente liga <https://www.dimensions.ai/>.

Figura 2. Cantidad de información manejada en la plataforma Dimensions.ai



Dicha plataforma tiene un menú donde clasifica la información de acuerdo al perfil de cada buscador:

- Investigadores
- Editores
- Académicos
- Corporativos
- Gobierno y financiadores [6]

Productos que ofrece:

- Dimensiones – versión gratuita
- Análisis de dimensiones
- Dimensiones Perfiles
- Dimensiones Datos
- API de dimensiones
- Dimensiones en Google BigQuery
- Dimensiones Ciencias biológicas y química [6]

Metodología

Se utilizó la Plataforma Dimensions.ai para mostrar la forma en que se busca la información

- ✓ Se abordó los **elementos básicos de la innovación y los tipos de innovación** para indicar el manejo de la plataforma
- ✓ Búsqueda de la información
- ✓ La búsqueda se realizó el 5 de agosto 2022

Resultados y discusión

Búsqueda de información

Se toma como ejemplo el tema de innovación utilizando la plataforma Dimensions.ai, se verificará la practicidad de utilizar dicha base de datos que es gratis su acceso. Se hará la búsqueda con una secuencia de pasos para entender de manera práctica la obtención de información:

Paso 1.

Se accesa al link <https://www.dimensions.ai/>, al dar click aparece la pantalla que se muestra en la Figura 1., se debe ingresar en donde dice **acceda a la aplicación web gratuita**

Figura 1. Página inicial



Paso 2.

Ya que se entra a la página principal, muestra en la Figura 2 todo lo que contiene la plataforma de Dimensions.ai, del lado izquierdo el filtro por año, en la parte de arriba el total de publicaciones, patentes, entre otros y en la parte derecha de la Figura 2 aparece una gráfica del número de publicaciones que tiene la Plataforma y debajo de ella por categorías:

- Investigador. Son los autores de las publicaciones con el total de publicaciones,
- Tipo de publicación (revistas, monografías, artículo, capítulo de libro, entre otras.)
- Lista de revistas. El nombre de las revistas
- Tipo de acceso a todas esas publicaciones. Acceso abierto, cerrado, híbrido

Figura 2. Pantalla inicial



El proceso anterior es de manera general para el acceso a la plataforma, a continuación se va a mostrar con el tema **tipos de innovación**.

Paso 3.

En la Figura 3. Donde está la lupa señalada se agrega el término del que se desea información, en este caso es **innovación de producto**.

Se desglozan 60,068 al respecto, si le das click en año de publicación (señalado en azul) te aparece que hay publicaciones de innovación de producto del año 1914 y el número de publicaciones dependiendo el año. Por ejemplo en el año 2021 hay 6,362 en donde hubo más publicaciones (se presupone que por motivos de la pandemia se fue más productivo en ese periodo) y en 1914 1 publicación que fue la producción más baja. Posteriormente una gráfica que muestra lo que se está mencionando que el 2021 fue el pico de producción.

Figura 3. Pantalla inicial

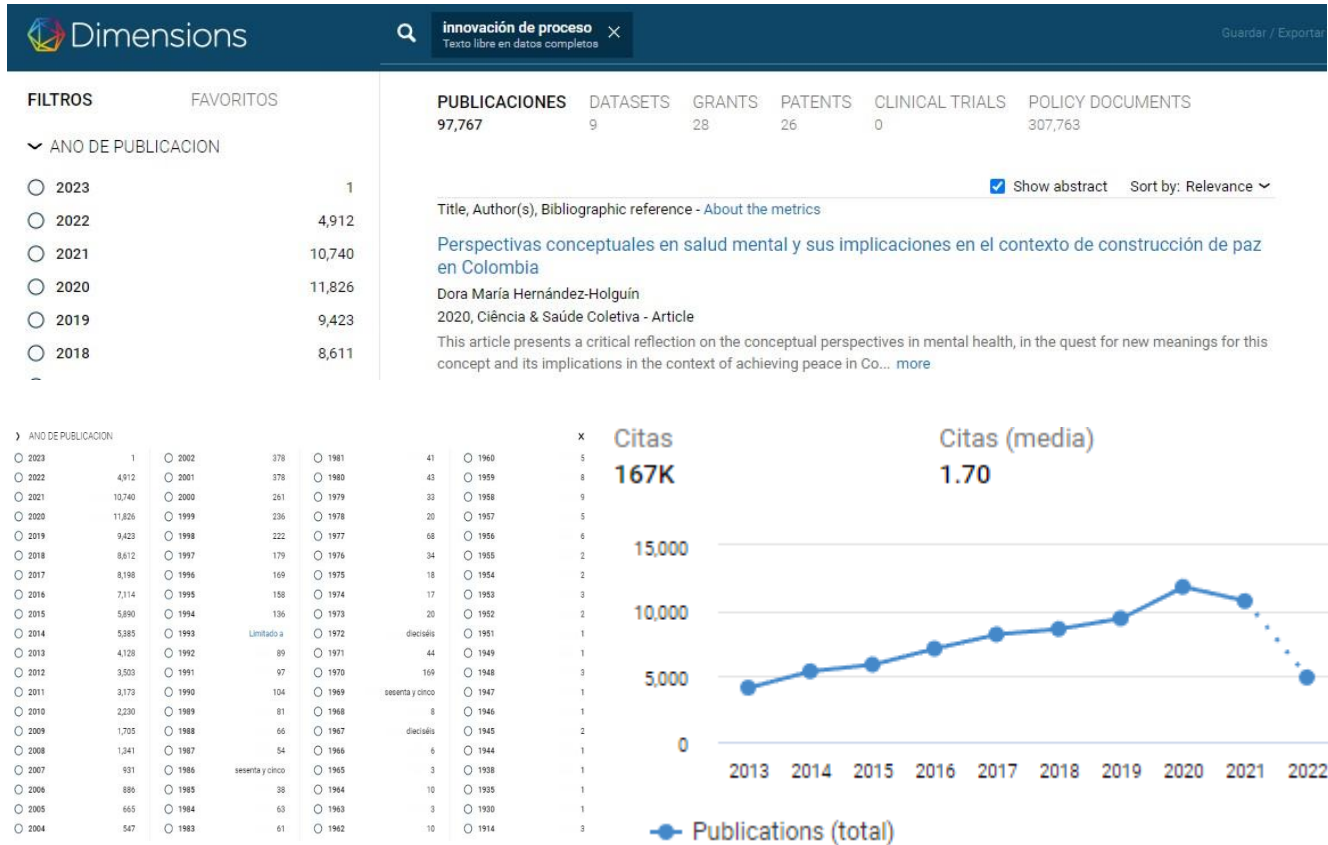


Paso 4.

En la Figura 4. Donde está la lupa señalada se agrega el término del que se desea información, en este caso es **innovación de proceso**.

Se desglozan 97,767 al respecto, si le das click en año de publicación (señalado en azul) te aparece que hay publicaciones de innovación de proceso del año 1914-2022 y el número de publicaciones dependiendo el año. Por ejemplo en el año 2020 hay 11,826 en donde hubo más publicaciones (se presupone que por motivos de la pandemia se fue más productivo en ese periodo) y en 1930, 1935, 1938, 1944, 1946, 1947, 1949 y 1951 solo 1 que fue la producción más baja en esos años. Posteriormente una gráfica que muestra lo que se está mencionando que el 2020 fue el pico de producción.

Figura 4. Pantalla inicial



Paso 5.

En la Figura 5. Se muestra el acceso a las publicaciones, en este caso se escoge un documento y aparecen todas las características del mismo: de que año es, si lo quieres agregar, autores, resumen, entre otros datos.

Figura 5. Pantalla inicial

The screenshot shows the Dimensions database interface. At the top, there is a navigation bar with the logo 'Dimensions', a search bar containing 'innovación de producto', and buttons for 'Guardar / Exportar', 'Apoyo', 'Registro', and 'Iniciar sesión'. Below the navigation bar, there is a link '< Volver' and the text 'Publicación - Artículo'. The main title of the article is 'Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo por harinas de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y tarwi (Lupinus mutabilis Sweet) sobre la calidad de la masa y el pan.' Below the title, there is a link to the article on Food Science and Technology International and its DOI. The 'Autores' section lists three authors: Carla Gutierrez-Castillo, Sylvia Alcázar-Alay, and Julio Vidaurre-Ruiz, all from CIINCA. A 'Resumen' section follows, describing the study's objective and findings. On the right side, there are buttons for 'Agregar a la biblioteca', 'Cuota', and 'Exportar cita'. Below these are sections for 'Historia del documento' and 'Categorías de investigación'.

Continuación del Paso 5.

En la Figura 6. Continuando con lo que aparece abajo del resumen, hay publicaciones relacionadas que se pueden utilizar para continuar con la búsqueda.

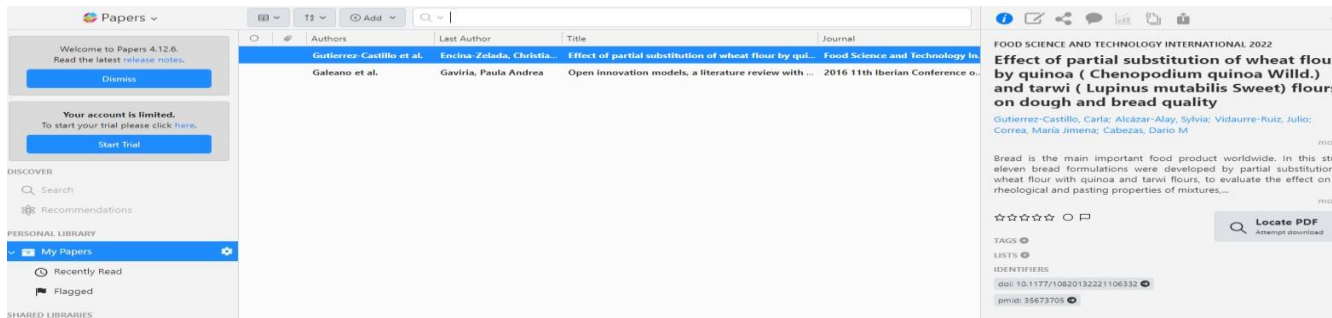
Figura 6. Pantalla inicial

The screenshot shows the 'Referencias de publicaciones' section of the Dimensions database. It displays a list of related publications. The first entry is 'Características nutricionales, físicas y sensoriales del pan con la inclusión de harina de albahaca germinada (Erythrina edulis)' by Fulgencio Vilcanqui-Pérez, Guadalupe Chaquilla-Quilca, Victor Hugo Sarmiento-Casavilca, Candy Naya Céspedes-Orosco, and Yeni Ventura-Saldivar, published in Journal of Food Science and Technology in 2021. The second entry is 'Los ingredientes funcionales de la quinua (Chenopodium quinoa) y los efectos fisiológicos del consumo de quinua: una revisión' by Chong Yi Ng and Ming Fu Wang, published in Fronteras alimentarias in 2021. Each entry includes a 'Citations' button and an 'Agregar a la biblioteca' button. The interface also shows a 'Mostrar todo' link and an 'Ordenado por: Fecha' option.

Paso 6.

Si le das click a las referencias de publicaciones, te aparece lo de la Figura 7., lo señalado en rojo te lleva al pdf, pero se requiere iniciar sesión como miembro de la plataforma en algunas ocasiones, en otras si se puede descargar.

Figura 7. Pantalla inicial



Trabajo a futuro

Indicar la productividad de la plataforma en relación a la cantidad:

- ✓ Medir la productividad en términos de números de publicaciones y productividad por país
- ✓ Medir la calidad en relación al impacto de la publicación por autor
- ✓ Medir la estructura de acuerdo a las conexiones de términos
- ✓ Identificar la tendencia o rumbo de las publicaciones

Conclusiones

La Plataforma Dimensions.ai es un fácil de usar, con una gran cantidad de publicaciones como revistas, monografías, artículo, capítulo de libro y patentes, pero la mejor bondad es que es una página web que tiene acceso gratuito; con la cual no se tiene la necesidad de estar consultando distintas bases de datos, con Dimensions.ai tienes todo en conjunto. También otra bondad que tiene esta base de datos son las citas que tiene el documento, te indica cantidad y si son recientes o no.

Referencias

- [1] A. Recuenco, Innovación: Una herramienta competitiva y útil en un mundo globalizado, *Sciéndo*, vol. 20, n.º 1, pp. 47-56, sep. 2017.
- [2] D. Suarez y A. Erbes y F. Barleta, *Teoría de la innovación*, 1ª ed. Los Polvorines: Universidad Nacional General Sarmiento; Madrid, Ediciones Complutense, 2020
- [3] OCDE, Comunidad Europea, *Manual de Oslo*, 3ª ed. OCDE, Grupo Tragsa, 2005
- [4] A. Martín, M. Thewall, E. Orduna y E. López, "Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science and OpenCitations" COCI: a multidisciplinary comparison of coverage via citations", *Scientometrics*, vol. 126, nº 1, pp. 871-906, 2021.
- [5] R. Jiménez, A. Bermúdez, C. Morales, Á. Martínez y A. Álvarez, "Análisis bibliométrico aplicado a estudios sobre ciencia, tecnología y sociedad", *Revista pedagógica de la Universidad de Cienfuegos*, vol. 16, nº 76, pp. 90-94, 2020.
- [6] Dimensions, "Dimensions.ai", Digital Science & Research Solutions Inc, 2022. [En línea]. Available: <https://www.dimensions.ai/>. [Último acceso: 05 agosto 2022].

Panorama de la certificación laboral de funcionarios públicos municipales como una estrategia hacia la profesionalización

Carmen Araceli González Aspera ^{1*}, Rosa América Torres Tello ², Elvia Hernández Castro ³,
¹Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Morelia, carmen.ga@morelia.tecnm.mx ²
Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Morelia, [rosa.tt@morelia.tecnm](mailto:rosa.tt@morelia.tecnm.mx) ³
Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Morelia, elvia.hc@morelia.tecnm.mx

Ingeniería administrativa: Gestión del talento humano

Resumen

El presente artículo describe de inicio el panorama de la certificación de las competencias laborales de los servidores públicos municipales en México, durante el periodo 2015 – 2021. En el año 2015 se designa al Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED) como responsable de integrar y coordinar el sistema nacional de capacitación, certificación y profesionalización de servidores públicos municipales y es el Consejo de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER), la entidad responsable de la coordinación del Sistema Nacional de Competencias, instancia en donde se certifican los funcionarios públicos municipales.

Este trabajo realiza un análisis al modelo para la profesionalización de los servidores públicos municipales basado en competencias laborales propuesto por el INAFED, que destaca las acciones realizadas por los estados de Hidalgo y el Estado de México pioneros en el desarrollo e implementación de la certificación laboral de funcionarios municipales, que de acuerdo a los hallazgos obtenidos, cuentan ya con un modelo profesionalización que incluye la certificación y un instituto estatal responsable de tal función.

Palabras clave: *certificación, profesionalización, funcionario público, competencias laborales.*

Abstract

This article initially describes the panorama of the certification of labor competencies of municipal public servants in Mexico, during the period 2015 - 2021. In 2015, the National Institute for Federalism and Municipal Development (INAFED) was designated as responsible for integrating and coordinating the national system of training, certification and professionalization of municipal public servants and is the Council for Standardization and Certification of Labor Competencies (CONOCER), the entity responsible for the coordination of the National System of Competences, instance where they certify municipal public officials.

This work analyzes the model for the professionalization of municipal public servants based on labor competencies proposed by INAFED, which highlights the actions carried out by the states of Hidalgo and the State of Mexico, pioneers in the development and implementation of the labor certification of municipal officials, who according to the findings obtained, already have a professionalization model that includes certification and a state institute responsible for such a function.

Key words: *certification, professionalization, public official, job skills.*

Introducción

El Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED) ha impulsado la creación del Consejo Nacional para la Profesionalización de la Administración Pública Local, con la finalidad de promover y facilitar la profesionalización en administraciones municipales y estatales. Sin embargo, se refiere nuevamente de la profesionalización de servidores públicos más no de las autoridades municipales. Tratándose del ámbito de la profesionalización y del servicio de carrera en los municipios los esfuerzos son muy dispares proliferando la indiferencia en la mayoría de ellos.

Es a nivel federal donde se encuentran los esfuerzos más visibles para la profesionalización, pero existe un enorme déficit en el nivel de gobierno estatal y municipal, “*hay una creciente preocupación por la situación de los*

presidentes municipales respecto a los resultados que deben brindar frente a la sociedad y por la necesidad de impulsar su profesionalización, pues es en este nivel donde el ciudadano tiene el contacto inmediato con el gobierno y la administración pública”. (Sánchez Ramos & Jaimes Estrada, 2017).

Esta investigación tiene por objeto contar con un panorama de la certificación laboral de los funcionarios públicos municipales en México, en el periodo comprendido del 2015 al 2021, mediante una investigación documental en fuentes oficiales como el INAFED, el CONOCER y la páginas web de los estados del País; con la finalidad de identificar si los modelos de profesionalización contemplan las certificaciones de competencias laborales y si es un requisito para desempeñar un puesto en la administración pública municipal.

Planteamiento del problema

La certificación es una de las propuestas de mejora para la profesionalización de los servidores públicos municipales; siendo una estrategia que contempla la función administrativa municipal como una gerencia que mide las capacidades de los funcionarios y los resultados en el cumplimiento de sus funciones.

La certificación de servidores públicos municipales ha tenido distintas aristas para su aplicación:

- Cambios en la normatividad, principalmente en las Leyes Orgánicas Municipales de los Estados
- Voluntad política para su aplicación
- Liderazgo en los gobiernos estatales a partir de sus centros de desarrollo municipal
- Lentitud en su aplicación, pocos estados lo han implementado como obligatorio
- Continuidad en la gestión municipal con periodos muy cortos de gobierno municipal con ideologías diferentes.
- Incertidumbre política con la continuidad de la estrategia de profesionalización para los servidores públicos municipales de la actual administración pública federal
- Participación activa de la ciudadanía con la evaluación de desempeño y de resultados por parte de sus gobiernos municipales.

Este análisis pretende documentar las acciones para la certificación como parte de la profesionalización que han realizado los gobiernos federales a partir de la creación del Consejo Nacional de Normalización y Certificación (CONOCER), y los gobiernos estatales y locales en su implementación y presentar los estándares de competencia laborales (ECO) desarrollados para las funciones estratégicas de la administración pública municipal.

Para finalmente analizar la propuesta de un modelo de profesionalización de servidores públicos municipales teniendo como base las certificaciones de competencias laborales para los puestos estratégicos.

Metodología

Los recursos utilizados fueron fuentes documentales de dependencias oficiales tales como: INAFED, CONOCER, INEGI, Observatorio Nacional y gobiernos estatales y municipales.

Con base en el trabajo colaborativo con el Centro de Desarrollo Municipal de Michoacán, en la verificación municipal dentro del programa federal Guía Consultiva de Desarrollo Municipal, antes denominada Agenda para el Desarrollo Municipal, surgió la inquietud de investigar este tema de la profesionalización basado en las competencias laborales de funcionarios públicos municipales.

La metodología que se utilizó en la investigación consistió en revisar la literatura existente, obtener, documentar, sistematizar y analizar la información reciente relativa a la profesionalización y certificación de los servidores públicos municipales, en el periodo comprendido del 2015 al 2021. El alcance de la investigación es descriptiva ya que busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de la situación objeto de estudio, señalando los aspectos distintivos y particulares del mismo, con base en fuentes documentales que tienen como objetivo fundamental el análisis de diferentes fenómenos, utilizando documentación existente, que directa o indirectamente, aportó la información requerida para la investigación. La finalidad de la investigación es aplicada, también llamada práctica y servirá para proponer mejoras a la profesionalización de los servidores públicos municipales, especialmente bajo el modelo de profesionalización basado en competencias laborales del servidor público municipal propuesto por el INAFED.

El método aplicado es descriptivo ya que se reseñan las características o rasgos de la situación objeto de estudio, señalando los aspectos distintivos y particulares del mismo con base en fuentes documentales, que tiene como principal referencia la propuesta del Instituto Nacional del Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED) y las certificaciones del Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER).

Resultados y discusión

Primeros resultados

La primera fase de la investigación tuvo como objetivo realizar una investigación preliminar del marco conceptual sobre el tema, con los siguientes resultados:

La nueva gestión pública

La nueva gestión pública (NGP) representa, según José Juan Sánchez González una "orientación" o "campo de interés" que bajo un mismo objeto incluye una diversidad de investigaciones empíricas. En el nivel práctico, la gestión pública corresponde al conjunto de políticas públicas para modernizar, reformar y transformar la administración pública en un organismo más flexible, apto, ágil y capaz para dar atención a los requerimientos ciudadanos en un contexto de globalización, interdependencia mundial y rápido avance tecnológico. (Sánchez González, 2002)

Referido a la acción o práctica social desempeñada por profesionales en posiciones de responsabilidad con relación a la toma de decisiones en organizaciones públicas gestión pública significa conducir, controlar, manipular, realizar, saber conducir un país, una sociedad, una comunidad. Por tanto, la gestión pública se relaciona con los proyectos de vida que se formulan de manera política y pública. (Sánchez González, p. 49)

Para Olías de Lima, esta agenda de la NGP, "es un contramodelo, en el sentido de un conjunto diverso de instrumentos y orientaciones en donde una de cuyas finalidades es acabar con el modelo específico: el burocrático" (Olías de Lima, B., p. 21). Si asumimos las críticas a la administración burocrática, se pretende reorientar el modelo hacia la administración privada.

Profesionalización

Profesionalizar significa mejorar los procesos de selección para atraer a los candidatos más calificados del mercado laboral; crear mecanismos para que los servidores públicos cuenten con los conocimientos y habilidades requeridas para desempeñar sus funciones; valorar periódicamente que los servidores públicos cumplan con las metas que se fijaron y si lo hacen de la manera más eficaz y eficiente posible, pero sobre todo, si con su actuar se contribuye a mejorar las condiciones de vida de la población. (MPRHeñeISP, 2012)

La profesionalización según Uvalle "centra su base en las aptitudes que debe reunir el aspirante a la función pública y determina los modos de evaluación continua" (Uvalle Berrones, 2002). Para El Diccionario de la Real Academia Española (DRAE) significa: "convertir a un aficionado en profesional (persona que ejerce una profesión)". (Sánchez Ramos & Jaimes Estrada, 2017)

La profesionalización de los directivos administrativos radica en el mérito para establecer igualdad de oportunidades y con eso reconocer el derecho a todos a participar en la administración pública, seleccionando al idóneo. De esta forma, el mérito y el desempeño se convierten en los referentes de permanencia y desarrollo en la administración municipal.

Profesionalización política

La profesionalización política, abarca el contexto de los funcionarios que dirigen administrativamente, a la vez que se recalca que la profesionalización, incluye la condición de permanencia o dedicación; la profesionalización de la administración pública estriba en "la permanencia de los cuadros del gobierno y de la administración pública en aquellas tareas que son de vital importancia para el conjunto de la sociedad" (Uvalle Berrones, 2002). Sánchez Ramos y Jaimes Estrada, señalan lo siguiente: el presidente municipal, en particular, y los políticos, en general no están considerados en el nivel medio y operativo; la profesionalización de la política implica, dedicación, remuneración, competencia en habilidades y competencia legal que defina tareas. La profesionalización se debe ver como un proceso en donde una actividad de oficio se convierte en una profesión de vida, es decir se ejerce de tiempo completo, se recibe remuneración, se aplica la vocación y conocimientos adquiridos o aprendidos durante la misma actividad.

Un político, una vez que está en funciones de gobierno, puede impulsar su profesionalización y el de la política, al contar con especialistas y expertos como integrantes de su staff o equipo de asesores. Esta alternativa garantiza que la toma de decisiones esté mejor diagnosticada y proyectada, por lo que puede producir la recuperación de la confianza ciudadana en la política. (Sánchez Ramos & Jaimes Estrada, 2017)

Certificación

En México la certificación no es obligatoria, pero existen mecanismos orientados a estimular la certificación por competencias. Un certificado de competencia reconoce el saber hacer de una persona, independientemente de la forma en que se haya adquirido el saber, el saber hacer y el ser. El certificado de competencia es un documento oficial donde se acredita a una persona como competente de acuerdo con lo establecido en un estándar de

competencia, y se encuentra en el Registro Nacional de Estándares de Competencias (RENEC). (CONOCER, 2013)

Certificación de competencias, es el procedimiento por el cual se verifica la conformidad del desempeño de una persona con una norma de competencia.

Certificación de competencias profesionales, es el certificado expedido por el órgano acreditado, de la competencia del trabajador en los conocimientos, habilidades y aptitudes, en determinadas funciones profesionales, independientemente del hecho de tener, o no, cursado un sistema regular de formación o haber adquirido la experiencia en la práctica del trabajo. Se caracteriza por ser voluntaria, realizada por organismos especializados, o por una empresa, según enunciados reconocidos, asegurando imparcialidad y accesibilidad, facilitando la movilidad laboral a través de la eliminación de barreras de ingreso al mercado de trabajo. Debe estar centrada en lo que el trabajador debe saber hacer. (OIT, 2019)

Segundos resultados

En México, la Secretaría de Gobernación tiene la responsabilidad de “diseñar, instrumentar, desarrollar, proponer, fomentar y publicitar programas y herramientas institucionales para la asesoría, capacitación y formación permanente de los integrantes de los ayuntamientos, así como de los funcionarios y empleados municipales en su carácter de depositarios de funciones y servicios públicos, con el fin de contribuir de manera efectiva a la profesionalización de los gobiernos locales y el desarrollo institucional de los municipios mexicanos”, con base a la reforma de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal publicada el 13 de mayo del 2015. Y es directamente el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED); quien está facultado a implementar un “Sistema de capacitación, certificación y profesionalización de servidores públicos locales”. (INAFED, 2018)

El Sistema, está integrado por las siguientes áreas:

El programa nacional de certificación de competencias laborales del servidor público municipal

Los estándares de competencia laboral en las funciones estratégicas de la administración pública municipal

El programa de profesionalización y capacitación del servidor público local

El programa nacional de certificación de competencias laborales del servidor público municipal

Este programa tiene como base el modelo de profesionalización basado en competencias laborales del servidor público municipal (figura1); que tiene como objetivo desarrollar los conocimientos, habilidades y aptitudes del servidor público municipal que se desempeña en las áreas sustantivas de la administración pública municipal, establecidos en estándares de competencia, publicados en el Diario Oficial de la Federación, con el reconocimiento y validez oficial del Consejo de Nacional de Normalización y Certificación de Competencias (CONOCER-SEP). (INAFED, 2018)



Figura 1: Modelo de profesionalización de los funcionarios públicos municipales basado en la certificación de competencias laborales / Elaboración propia con base en (INAFED, 2018)

Certificar a un servidor público municipal, según el modelo, implica que se lleven a cabo los siguientes pasos:

Capacitación: participar en la capacitación presencial o virtual o basada en los estándares de competencia que ofrece el INAFED.

Evaluación, es en este paso donde se realiza la evaluación al servidor público y se determina si es competente o todavía no competente, aquí es necesario realizar las siguientes actividades:

- Elegir la entidad de certificación y evaluación de competencias laborales (ECE)
- Realizar ante la ECE una evaluación diagnóstica.
- Acordar con la ECE un plan de evaluación (candidato-evaluador)
- Realizar la evaluación de acuerdo a lo establecido en el plan.
- Recibir un dictamen de juicio de la competencia la ECE. (Competente o todavía no competente).

Certificación: recibir el certificado correspondiente en caso de haber aprobado el juicio de competencia

Integración: formar parte de la Red Nacional de Servidores Públicos Certificados en Competencias.

En este proceso de certificación se demuestra, por medio de evidencias, los conocimientos, habilidades, destrezas, actitudes y valores necesarios para cumplir una función a un alto nivel de desempeño, de acuerdo con lo definido en un estándar de competencia; para el caso de los servidores públicos municipales estos estándares definen los conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes requeridas para el desarrollo de las funciones de las áreas que comprende la administración municipal, oficializados en un estándar de competencia (INAFED, 2018).

Un estándar de competencia (EC) es el documento oficial que describe el conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas, actitudes, y valores que requiere una persona para realizar actividades con un alto nivel de desempeño, por lo que para certificarse establece un grado de exigencia mayor en sus resultados y es una guía que permite evaluar a las personas en las funciones que desempeñan o han desempeñado con el paso del tiempo; no requiere que la persona interesada en realizar el proceso cuente con un título profesional para certificarse.

Los organismos de certificación (OC) o las entidades de certificación y evaluación (ECE), son los encargados de gestionar ante el CONOCER, la certificación de las personas, garantizando la capacitación, evaluación y certificación de las competencias. Para la certificación de funcionarios públicos locales se tienen entidades especializadas (figura 2); que realizan alguna o todas las funciones de capacitación, evaluación y certificación, aquí participan Instituciones de educación superior acreditadas por el CONOCER como entidades de certificación y evaluación y acreditadas por el comité de gestión por competencias de la administración pública municipal.



Figura 2: Prestadores de servicios especializados en el proceso de certificación / (SEP/CONOCER, 2017, p. 20)

Estas instituciones conforman el comité de gestión por competencias de la administración pública municipal (tabla 1) que es presidido por el INAFED y está conformado por instituciones de la administración pública estatal encargadas de promover el desarrollo de los municipios de sus Estados; instituciones de educación superior y se invita, en virtud de los temas, a otras instituciones de los tres órdenes de gobierno y a organizaciones de la sociedad civil especializadas en los temas. Siendo su función principal el diseñar y promover el modelo de gestión por competencias laborales del servidor público local y sus actividades específicas son:

Designar a uno o más grupos técnicos para desarrollar estándares de competencia (EC).

Promover los procesos de capacitación, evaluación y certificación de competencias de las personas con base en estándares de competencia.

Impulsar la gestión por competencias en el servicio público local.

Definir los incentivos de la certificación y las consecuencias de la no certificación, en los estándares que desarrollen.

Proponer las instituciones que serán responsables de la evaluación y certificación de los trabajadores del sector. (INAFED, 2018).

Tabla 1: Comités de gestión por competencias que han desarrollado estándares para la profesionalización de servidores públicos

Nivel / Dependencia	Estándares desarrollados
Federal	
Administración Pública Municipal (INAFED)	6
Administración Pública Federal (SFP)	7
Estatal	
Administración Pública del Estado de México (IHAEM)	14
Administración Pública del Gobierno del Estado de Chiapas	2
Municipal	
Administración Pública del Municipio de Monterrey	1
Transversales	
Sector Hídrico CENAPRED Igualdad de Género Desarrollo Social Atención de asuntos Indígenas y Asistencia Social	35
Total de estándares	65

Fuente: elaboración propia con base en (SEP/CONOCER, 2017, pp. 14,15)

Los estándares de competencia laboral en las funciones estratégicas de la administración pública municipal, Los estándares de competencia laboral tienen validez a nivel nacional y el reconocimiento oficial por parte de la Secretaría de Educación Pública, a través del Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER), el cual coordina el Sistema Nacional de Competencias.

La definición de los estándares tiene como base jurídica en la Ley Federal del Trabajo, la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y la Secretaría de la Función Pública (SEP/CONOCER, 2017), y las Leyes Orgánicas de los Estados, en donde se establece en primer lugar la obligación del Estado para la elaboración de planes y programas de capacitación y adiestramiento para el mejorar el desempeño de los trabajadores y de manera particular para la definición de las competencias laborales y en su caso la obligatoriedad de una certificación para el desempeño de una función pública municipal.

Los estándares de competencia están dirigidos a la estructura básica de la administración pública municipal, como se ejemplifica a continuación (figura 3):

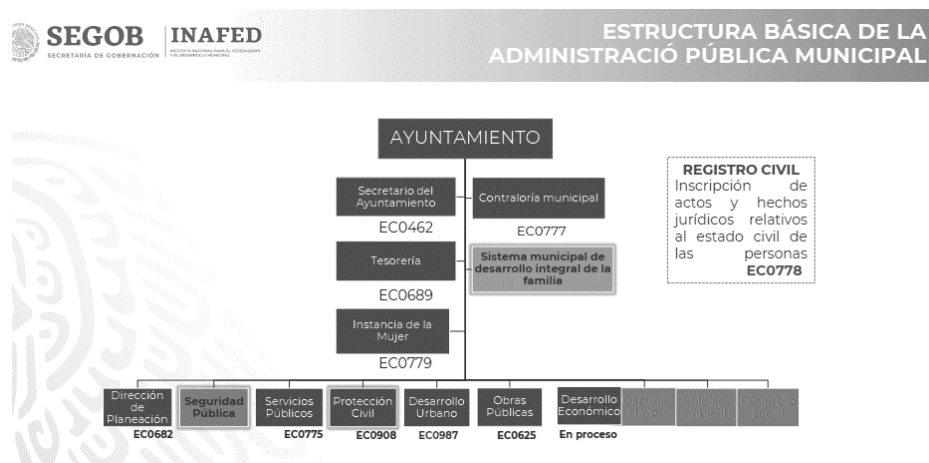


Figura 3: Estándares de competencia de acuerdo a la estructura básica de la administración pública municipal /Fuente: (INAFED, 2018, p. 5)

El programa de profesionalización y capacitación del servidor público municipal

Está integrado por toda la oferta de cursos y talleres para la profesionalización y capacitación que imparte el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, INAFED; en colaboración con distintas dependencias del Gobierno Federal, instituciones de educación superior, organismos internacionales y asociaciones de la sociedad civil a través del desarrollo del conjunto de conocimientos, habilidades y aptitudes de los servidores públicos.

Este programa tiene como objetivo fortalecer las capacidades institucionales de los gobiernos municipales, a través del desarrollo del conjunto de conocimientos, habilidades y aptitudes de los servidores públicos municipales para incrementar el nivel de eficacia, eficiencia y efectividad en el ejercicio de la función pública. (INAFED, 2018) Está dirigido a los miembros que integran los ayuntamientos y a los funcionarios que conforman la administración pública municipal; se encuentra alineado a las funciones y atribuciones conferidas a los municipios en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, los Tratados Internacionales, la Legislación Nacional y a las Políticas y programas que emergen del Plan Nacional de Desarrollo.

El programa se estructura en tres fases:

Fase 1. Formación inicial

Corresponde al proceso de preparación teórico-práctico, orientado a que miembros del ayuntamiento y de la administración pública municipal desarrollen los conocimientos, habilidades y aptitudes necesarios para cumplir las tareas a desempeñar en beneficio de la población, de acuerdo con las atribuciones y facultades conferidas en el marco constitucional y los tratados internacionales.

En este aspecto se encuentran definidas las competencias que deberán cumplir los funcionarios locales y que se encuentran integradas en tres rubros:

- a) Los conocimientos institucionales que en materia de administración pública municipal, del marco jurídico municipal y los programas federales para los municipios que todo funcionario público debe dominar para el desempeño general de sus funciones.
- b) En referencia al nivel jerárquico que ocupa el funcionario municipal como administrador de recursos y para el manejo de personal en un área específica, las *competencias gerenciales* de trabajo en equipo, negociación y resolución de conflictos, la visión estratégica y la orientación a resultados, implementan las bases de la nueva gerencia pública, complementando sus habilidades dentro del marco de las competencias gerenciales.
- c) Las *competencias técnicas* (figura 4); referidas a las funciones específicas del puesto que ocupa dentro de la administración municipal que constituyen el fundamento de cada estándar de competencia.

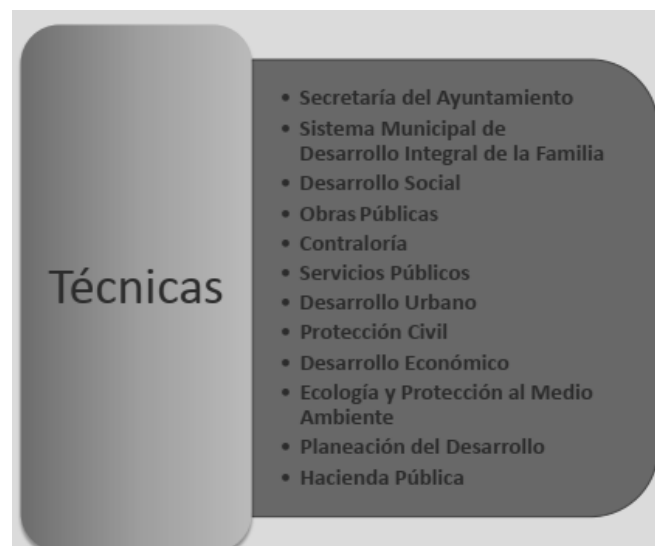


Figura 4: Competencias técnicas de los servidores públicos municipales / (INAFED, 2017, p. 6)

Fase 2. Actualización

Es el proceso permanente de capacitación, el cual tiene por objeto orientar, y fortalecer los conocimientos y habilidades del servidor público municipal, de acuerdo a sus funciones.

Los cursos que integran la capacitación de los funcionarios locales están integrados en un catálogo diseñado por la Dirección de Profesionalización y Capacitación del Servidor Público Local, del INAFED, los funcionarios pueden inscribirse en la plataforma y acceder a cursos virtuales. (SEGOB/INAFED, 2018)

Fase 3 Profesionalización: Es el modelo de profesionalización basado en competencias laborales del servidor público local, que se analizó dentro del programa nacional de certificación de competencias laborales del servidor público municipal.

Últimos resultados

Algunos estados pioneros en la implementación de una política de esta naturaleza son Hidalgo y el Estado de México, en coordinación con sus poderes legislativos y través de sus Leyes Orgánicas de la Administración Pública, han impulsado la certificación del servidor público municipal.

El estado de Hidalgo, se aprobaron reformas a la Constitución Política del Estado y la Ley Orgánica Municipal, en el año 2016; que decretan la obligatoriedad (Art. 121 Bis), para la Secretaría Municipal, Tesorería, Contraloría, el Registro del Estado Familiar, Obras Públicas, Planeación, Protección civil, así como para la Instancia Municipal de las Mujeres en las administraciones municipales de contar con una certificación de competencia laboral expedida por una institución reconocida en el Sistema Nacional de Competencias. (SEP/CONOCER, 2017, p. 29)

A continuación se muestra el modelo de profesionalización municipal del estado de Hidalgo (figura 5)



Figura 5: Modelo Hidalgo de profesionalización municipal / (INDEMUN-HIDALGO, 2017, p. 10)

En el Estado de México es el Instituto Hacendario del Estado de México (IHAEM), creado en el año 2000, el encargado de profesionalizar el desempeño competente del servicio público estatal y municipal; y a partir del año 2004 que se constituyó la Comisión Certificadora de Competencia Laboral de los Servidores Públicos del Estado de México (COCERTEM), se iniciaron las acciones orientadas a modificar el marco jurídico para fortalecer la profesionalización de los servidores públicos municipales, reformando la Ley Orgánica Municipal del Estado de

México, de ahí surgió el programa de certificación de competencia laboral que lleva a cabo el IHAEM. (Martínez Tiburcio & Carrera Hernández, 2018)

Desde el año 2009 se emiten anualmente las Normas Institucionales de Competencia Laboral (NICL), que son requisito para la profesionalización de los servidores públicos, independientemente de su obligatoriedad y que son publicadas en la gaceta de gobierno del Estado de México. Y con diversos cambios en su Ley Orgánica del Estado de México, ha sido obligatoria la certificación, desde el 2014, al Tesorero, Secretario, Director de Obras Públicas, Director de Desarrollo Económico o equivalentes, específicamente se establece como sigue "contar con carrera profesional concluida, experiencia mínima de un año o contar con una certificación y es requisito acreditar la certificación de competencia laboral, dentro de los seis meses siguientes a la fecha en que inicia funciones (Art.96 Fracción Primera LOMED) (Martínez Tiburcio & Carrera Hernández, 2018, p. 22)

Algunas de las acciones relevantes son:

Está incluida la certificación de funcionarios públicos municipales en su Plan de Desarrollo 2017-2023, en el eje temático "Desarrollo Institucional" se incluye el área de política pública "Profesionalización del servidor público"; específicamente en certificación de competencias laborales de los servidores públicos que se desempeñen en áreas clave de la administración municipal (IHAEM, 2018)

El IHAEM ha desarrollado 21 referentes normativos para certificación de competencias laborales de funcionarios municipales.

Conclusiones

Para la administración pública, las personas son un factor fundamental, para la gestión de los procesos que tienen una relación fundamental entre la ejecución del proceso y la calidad con que se presta el servicio, por lo que contar con recursos humanos competentes requiere de una gestión estratégica que considere indicadores de eficacia, eficiencia, competitividad, servicio, resultados y transparencia.

En México, el Sistema Nacional de Competencias es un instrumento del Gobierno Federal que contribuye a la competitividad económica, al desarrollo educativo y al progreso social de México, con base en el fortalecimiento de las competencias de las personas para facilitar los mecanismos para que las organizaciones e instituciones públicas y privadas, cuenten con personas más competentes.

En materia de recursos humanos en la administración pública se analizaron los programas y modelos diseñados por el INAFED, es importante detallar cómo se integran estas acciones bajo el concepto de NGP, en primer lugar, se observa la profesionalización de los servidores públicos que han ido integrando aspectos calidad, eficiencia, transparencia, equidad y evaluación, siendo fundamental la aplicación del modelo de competencias para definir las funciones genéricas y específicas o técnicas.

La profesionalización de los funcionarios públicos municipales es todavía incipiente y con gran dependencia de la voluntad política de los gobiernos estatales y municipales, además de que a nivel federal se debería establecer un programa específico que propicie el involucramiento de todas las instancias responsables que coadyuve a la implementación ordenada y sistemática con niveles de obligatoriedad para la certificación de los servidores públicos municipales.

De acuerdo a los hallazgos realizados en la investigación se concluye que a nivel nacional el panorama de la certificación laboral todavía no es una prioridad para la gran mayoría de los estados, ya que solo se encontró evidencia documental en dos estados, Hidalgo y el Estado de México. Siendo una realidad en México que en las administraciones públicas municipales se designan funcionarios con base en compromisos políticos, lazos familiares y afectivos, más que en el perfil profesional.

Referencias

- [1] M. Á. Sánchez Ramos y O. J. Jaimes Estrada, «Profesionalización de políticos y funcionarios municipales,» *Espacios Públicos*, vol. 20, nº 49, pp. 2-34, 2017.
- [2] J. J. Sánchez González, *Gestión Pública y Governance*, Toluca, Edo. de México: Instituto de Administración Pública del Estado de México, A.C., 2002.
- [3] Ollas de Lima, B., *La Nueva Gestión Pública*, España: Prentice Hall, 2001.
- [4] MPRHenelSP, «www.usp.funcionpublica.gob.mx,» abril 2012. [En línea]. Available: <http://www.usp.funcionpublica.gob.mx/doctosecco/documentos/mejoresPracticasDeRecursosHumanosEnElSectorPublico.pdf>. [Último acceso: 07 06 2017].
- [5] R. Uvalle Berrones, *Institucionalidad y profesionalización del servicio público en México. Retos y perspectivas*, Primera ed., México D.F.: Plaza y Valdés, 2002.
- [6] CONOCER, «CONOCER,» 11 Agosto 2013. [En línea]. Available: <https://conocer.gob.mx/contenido/seccionesExtras/transparencia/pdfs/53.pdf>. [Último acceso: 15 09 2019].

- [7] OIT, *Organización Internacional del Trabajo, glosario de terminos tecnicos*, Portugal: OIT, 2019.
- [8] INAFED, «www.gob.mx,» 13 12 2018. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/inafed/acciones-y-programas/programa-de-profesionalizacion-y-capacitacion-del-servidor-publico-local>. [Último acceso: 11 09 2019].
- [9] INAFED, «www.gob.mx/inafed,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/inafed/documentos/modelo-de-profesionalizacion-basado-en-competencias-laborales-del-servidor-publico-local>. [Último acceso: 10 08 2019].
- [10] INAFED, «www.gob.mx/inafed,» 2018. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/420557/Modelo_basado_en_competencias.pdf. [Último acceso: 10 08 2019].
- [11] SEP/CONOCER, «senado.gob.mx,» 04 2017. [En línea]. Available: http://www.senado.gob.mx/comisiones/desarrollo_municipal/eventos/3_AAR_CONOCER.pdf. [Último acceso: 16 08 2019].
- [12] INAFED, «www.inafed.gob.mx,» 2017. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/229900/3_Estrategia_de_Capacitacion_ok.pdf. [Último acceso: 13 09 2019].
- [13] SEGOB/INAFED, «inafed.gob.mx,» 13 12 2018. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/420628/Cat_logo_de_Capacitacion.pdf. [Último acceso: 23 09 2019].
- [14] INDEMUN-HIDALGO, «senado.gob.mx,» 2017. [En línea]. Available: http://www.senado.gob.mx/comisiones/desarrollo_municipal/eventos/8_JLGM_INDEMUN.pdf. [Último acceso: 18 09 2019].
- [15] M. G. Martínez Tiburcio y A. P. Carrera Hernández, «ihaem.edomex.gob.mx,» 2018. [En línea]. Available: http://ihaem.edomex.gob.mx/sites/ihaem.edomex.gob.mx/files/files/2019/DESCARGAS/6_Indice%20de%20Medicion.pdf. [Último acceso: 22 09 2019].
- [16] IHAEM, «Gaceta del Gobierno,» 04 07 2018. [En línea]. Available: <http://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/gct/2018/jul041.pdf>. [Último acceso: 25 09 2019].
- [17] N. ApellidoA1 y N. ApellidoA2, *Titulo Primera obra, ciudadA*: EditorialA, 2019.
- [18] N. ApellidoB1 y N. ApellidoB2, «Artículo B,» *Revista MNBVC*, vol. 1, nº XX, pp. 34-43, 20221.
- [19] CONOCER, «Consejo Nacional de certificación Normalización y Certificación de Competencias Laborales,» 2017. [En línea]. Available: https://conocer.gob.mx/acciones_programas/conocer-mision-vision-politica-objetivos-calidad/. [Último acceso: 15 09 2019].
- [20] LSPC, «Diario Oficial de la Federacion,» 09 04 2003. [En línea]. Available: dof.gob.mx/nota_to_doc.php?codnota=697014. [Último acceso: 08 06 2017].
- [21] INAFED, *Estrategia de capacitación del gobierno federal*, México D.F.: SEGOB, 2012.
- [22] PSPC, «DOF,» 11 02 2016. [En línea]. Available: dof.gob.mx/nota_to_doc.php?codnota=5425288. [Último acceso: 08 06 2017].
- [23] OIT/Cinterfor, «Organización Internacional del Trabajo,» 2019. [En línea]. Available: https://www.oitcinterfor.org/red_certificacion. [Último acceso: 15 09 2019].
- [24] INAFED, «INAFED,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/inafed/documentos/modelo-de-profesionalizacion-basado-en-competencias-laborales-del-servidor-publico-local>. [Último acceso: 06 10 2019].
- [25] Ordenador, «AVANZA IHAEM EN CERTIFICACIÓN DE SERVIDORES PÚBLICOS MUNICIPALES,» 27 06 2019. [En línea]. Available: <https://www.ordenadorpolitico.com/avanza-ihaem-en-certificacion-de-servidores-publicos-municipales/>. [Último acceso: 26 09 2019].

App como herramienta de capacitación para la elaboración de estados financieros en las organizaciones.

Dr. Juan Pedro, Benítez, Guadarrama¹, M. en I. Brenda Anahí Pérez Elizondo²
Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Ecatepec, jbenitezg@uaemex.mx,
<https://orcid.org/0000-0002-2826-6359>.¹ Corporativo Immanuel Kant, anahi.elizondo18@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-7012-8996> ²

Área de participación: Ingeniería administrativa.

Resumen

En las organizaciones se requiere capacitar al personal de nuevo ingreso, ya sea por la realización de servicio social, prácticas profesionales o por no tener ningún tipo de experiencia en el campo laboral, este proceso de capacitación suele ser costoso y en ocasiones no garantiza el efectivo aprendizaje; el objetivo de esta investigación es mostrar como la app puede aplicarse en el proceso de capacitación para la elaboración de estados financieros, se realizó un estudio descriptivo, explicativo y transversal; los resultados destacan que el tener una aplicación que funge como simulador y proporciona una parte teórica actualizada mejora el proceso de aprendizaje, se infiere que el uso de una app en el proceso de capacitación muestra resultados positivos, reduce errores en la práctica, otorga seguridad, reduce tiempos, costos y mejora el análisis de resultados.

Palabras clave: Aplicación, aprendizaje, capacitación, información financiera

Abstract

In organizations it is required to train new personnel, either by performing social service, professional practices or not having any experience in the labor field, this training process is usually expensive and sometimes does not guarantee effective learning; the objective of this research is to show how the app can be applied in the training process for the preparation of financial statements, a descriptive, explanatory and cross-sectional study was conducted; The results show that having an application that works as a simulator and provides an updated theoretical part improves the learning process, it is inferred that the use of an app in the training process shows positive results, reduces errors in practice, provides security, reduces time, costs and improves the analysis of results.

Key words: App, learning, training, financial information

Introducción

Cuando un nuevo elemento pretende incluirse a las filas del personal administrativo de una organización se enfrenta a la incertidumbre de ¿cómo operar el equipo?, ¿a qué departamento debe hacer llegar la información?, ¿cómo debe de presentarla?, pero sobre todo con la pregunta ¿Qué debo hacer? y ¿Cómo lo voy a hacer?, estas interrogantes se pretenden disipar con el proceso de capacitación, en múltiples ocasiones son jóvenes los que pasan por este proceso al querer incursionar en el mercado laboral, cuando requieren realizar su servicio social, prácticas profesionales o al terminar la universidad buscar su primer trabajo; para poder capacitar al nuevo personal algunas empresas asignan a personal con experiencia en el departamento al cual se van a asignar los nuevos miembros, esto no siempre favorece al nuevo empleado, los capacitadores por no descuidar tanto tiempo sus actividades solo muestran de forma rápida como se debe realizar la actividad, algunos otros por el temor de perder su empleo no enseñan de forma correcta al aprendiz o no se le tiene paciencia al nuevo miembro, suponen que por venir de una institución educativa conocen los procesos y están listos para desempeñarlos; algunas otras contratan un servicio externo de capacitación para no interferir en la productividad de la organización y detener a un miembro para enseñar a otro, pero esto suele ser costoso y no del todo favorecedor para el nuevo miembro pues el proceso puede resultar confuso; estas problemáticas se acrecientan al creer que el nuevo integrante conoce la parte teórica en este caso la elaboración de estados financieros y con ello puede desempeñar su labor pero no siempre es así, no saben dónde tomar los elementos para el llenado y su estructura, como interpretar la información, etc., estas dificultades limitan la buena presentación de la información financiera, la confiabilidad de los resultados y al momento de presentarse una revisión o auditoría suelen haber problemas con el manejo de dicha información, pueden no cumplir con la normatividad vigente.

La importancia de la capacitación en una empresa es esencial para el desarrollo y buen funcionamiento de esta, no solo se limita al hecho de enseñar a las personas que se suman a las filas de la entidad económica, sino también al personal que ya labora dentro de ella para actualizarse en base a los nuevos recursos tecnológicos, normatividad y demás medios que garanticen una mejor ejecución de funciones y, por tanto, mayor productividad. Es importante destacar que la capacitación es un elemento esencial que se encuentra normado en la [1] en el Capítulo III BIS (de la Productividad, Formación y Capacitación de los Trabajadores), en el artículo 153 A especifica la obligación de proporcionar capacitación dentro o fuera de la empresa, en el artículo 153 B establece que el objeto es “preparar a los trabajadores de nueva contratación y a los demás interesados en ocupar las vacantes o puestos de nueva creación”.

Arias Galicia citada por [2, pp. 17,19] refiere que la capacitación es la “Adquisición de conocimientos principalmente de carácter técnico científico y administrativo”, así mismo, precisan que “la capacitación tiene como propósito proporcionar nuevas ideas experiencias, conocimientos y actitudes en empleados y ejecutivos”. mientras tanto Orozco [3], señala que la capacitación “consiste en lograr que las personas estén en condiciones de hacer de manera eficiente aquello que se requiere hacer”.

El proceso de capacitación se destaca por contribuir a que los nuevos empleados se incorporen con la adquisición de conocimiento adecuado para desempeñar su labor dentro de la organización, es imprescindible contextualizar el aprendizaje con simuladores [4, p. 109] destaca que:

La capacitación con simuladores es una técnica donde los individuos se capacitan en equipos reales o virtuales, como los que usaran en el trabajo, pero fuera, del puesto. De esta manera se busca obtener las ventajas de la CET sin que el aprendiz este realmente haciendo su trabajo. Se trata de la capacitación que se vuelve una necesidad donde resulta demasiado costoso o peligroso capacitar a los empleados en el mismo lugar de trabajo.

Actualmente el desarrollo de tecnología móvil en México ha aumentado de forma acelerada tanto en el entorno académico, como en los sectores económicos (industriales, comercial de servicios) y en la realización personal; las TIC se han establecido a través del tiempo como fuentes de desarrollo pues brinda espacios de participación para el dialogo opiniones y creación de conocimiento, como son foros y portales de información, la telefonía móvil agudiza y eleva la inclusión pertinencia y cercanía, el internet funge como una herramienta para la investigación y educación, el uso de dispositivos como laptop o PC, contribuyen a la generación de documentos y procesamiento de datos [5] lo anterior nos hace pensar que estos elementos al estar presentes dentro del día a día de las personas y las operaciones que se realizan podrían contribuir en el proceso de capacitación.

Un elemento que soporta el aprendizaje virtual es el b-learning, el cual es el aprendizaje que se da a través del uso de dispositivos virtuales, móviles ya sean de forma sincrónica, asincrónica o en entornos presenciales como modalidad mixta el cual integra estrategias de 3 tipos las metodológicas, pedagógicas y las tecnológicas con un enfoque realizado hacia el usuario que la ópera. Una autora nos refiere que el b-learning contribuye al “proceso sistémico de mediación orientado a la planeación de recursos tecnológicos, creación de ambientes de aprendizaje y métodos de instrucción para el logro de los aprendizajes esperados en educación en línea o mixta”. [6] Así mismo, definen al b-learning como un modelo que combina la enseñanza virtual y presencial, es una valiosa herramienta para mejorar el proceso de aprendizaje mediante el uso de tecnologías de la información [7] [8].

De igual forma es importante destacar que el b-learning puede favorecer un aprendizaje activo para los estudiantes o personal a capacitar derivado de la vinculación de tres elementos: espacio, pedagogía y tecnología [Figura 1].

...por una parte se facilita trabajar en distintos espacios y escenarios, tanto virtuales como reales y tanto presenciales como a distancia; se movilizan diferentes elementos/recursos digitales que propician la creación de variados y diversos escenarios tecnológicos, y por otra, se dispone de una fundamentación teórica [9]



Figura 1 Combinación de elementos para alcanzar un aprendizaje activo, [10]

Metodología

La presente investigación es cualitativa, descriptiva explicativa de corte transversal, porque brinda los elementos teóricos y metodológicos para analizar el proceso de capacitación enfocado al uso de aplicaciones para mejorar dicha etapa, corresponde al análisis de contenido de una app como herramienta de capacitación financiera para las organizaciones.

El método de capacitación por aplicación que se propone implementar en esta investigación se sustenta con el aprendizaje basado en la tecnología, el cual en ocasiones se denomina capacitación basada en ordenadores (CBT) o e-learning, el primer término es más extenso ya que engloba cualquier dispositivo en el cual se desarrolle la capacitación y el segundo se aloja completamente online [11].

El proceso de capacitación se centra en 4 etapas [figura 2] la primera se denomina detección de las necesidades de capacitación, es decir, esta es la etapa diagnóstica aquí se va a visualizar el alcance, la determinación, el análisis de problemas, informes y otros datos, la segunda es el programa de capacitación para atender las necesidades, aquí se eligen y precisan los medios o el tratamiento que se llevara a cabo para solucionar las limitaciones o insuficiencias mencionadas o visualizadas, la tercera etapa es la implantación y ejecución del programa de capacitación en esta etapa se lleva a cabo la vinculación entre el instructor y el aprendiz, así mismo, deben existir algunos elementos como son que la capacitación sea adecuada y esté realizada para satisfacer las necesidades de la organización, que debe existir un material de calidad para facilitar la transmisión de conocimiento, la cooperación y la preparación del instructor y por último, la cuarta etapa es la evaluación de los resultados, aquí se certifica si la capacitación modifico el actuar del empleado, si se tiene relación con las metas a alcanzar y si con el aprendizaje obtenido se pueden alcanzar los objetivos establecidos. [12, pp. 318-338]

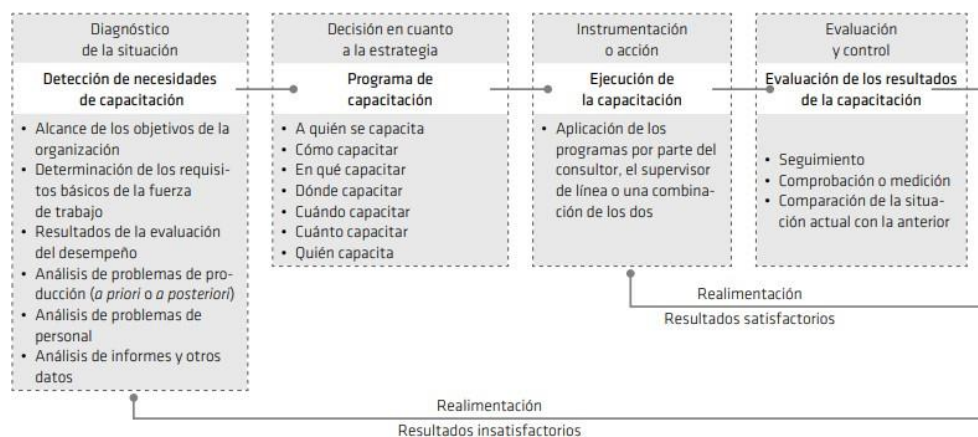


Figura 2. Proceso de capacitación. [12, p. 325]

Un estudio realizado por [13] presenta un programa de entrenamiento basado en computador para el personal de operaciones y mantenimiento el cual basaron en 6 etapas [figura 3] de desarrollo en la primera se recopiló la información para el desarrollo del sistema, en la segunda se realizó un análisis de las funciones del proceso, equipos, control, y las tareas principales, en el tercero se establecieron las competencias básicas las cuales tenían por finalidad servir de herramienta de entrenamiento en el “conocimiento básico estándar” del proceso los cuales se basaron en diagramas de flujo e instrumentación de la nave, en el cuarto se estableció las competencias específicas que tienen por finalidad servir de herramienta de entrenamiento en el “conocimiento específico” del proceso, en lo referente al control del proceso y a las tareas operacionales, en el quinto se elaboraron el (CBT) quemuestra de manera objetiva y gráfica la información del proceso y sirve como herramienta principal para el entrenamiento. Y en la sexta se aplicó el uso del simulador a 559 trabajadores a través de escenariospreconfigurados. Obtuvo como resultado la reducción del tiempo en el aprendizaje, un aumento en el avance enel nivel de estudio debido a la disponibilidad y portabilidad y el contar con simuladores preconfigurados permite la familiarización con el proceso y las tareas principales.



Figura 3. Etapas del Proyecto Entrenamiento basado en computador para operadores y mantenedores de planta. [13]

Preparación

El aplicar el proceso de capacitación mediante una aplicación se inicia con la obligación que establece la Ley Federal del trabajo de proporcionar capacitación a trabajadores, la finalidad es dar cumplimiento a dicho ordenamiento y de forma ágil,precisa, a bajo costo, sin importar el grado de conocimiento sobre la elaboración de estados financieros y con un recurso que puede ser usado en cualquier momento y por cualquier usuario.

La aplicación denominada Edo-fin es una herramienta para ser instalada en dispositivos móviles con sistema operativo Android, ya que es el sistema operativo más usado desde el 2020 y hasta la actualidad esto con base en una publicación realizada por [14] la cual refiere que los dispositivos Android representan una cuota de mercado del 84.1% en 2020, mientras que los IOS de Apple el 15.9% restante. Esta app no consume mucha capacidad en el teléfono móvil al momento de ser instalada, en cuanto a su uso no requiere estar conectada a una red wifi para poder ser operada lo que la hace portátil y funcional, en su contenido se destaca una estructuramuy intuitiva para operarla, cuenta con botones que especifican la información referente a cada uno de loestados financieros, su estructura, normatividad y ejemplos, otro botón permite poner en práctica la parte teórica cual propone casos prácticos con los escenarios más comunes en las operaciones financieras de una entidad, cabe señalar que cada uno de los rubros cuenta con notas para indicar que elementos se deben considerar para ser colocados en esa posición y al término del ejercicio proporciona una evaluación y arroja una comparación entre lo hecho por quien lo manipula y la solución del caso brindando retroalimentación al usuario, operador y al personal encargado de la capacitación.

Desarrollo

El proceso de capacitación que se plantea consta de 5 etapas la etapa diagnostica, primer acercamiento, implementación, evaluación, retroalimentación [figura 4].

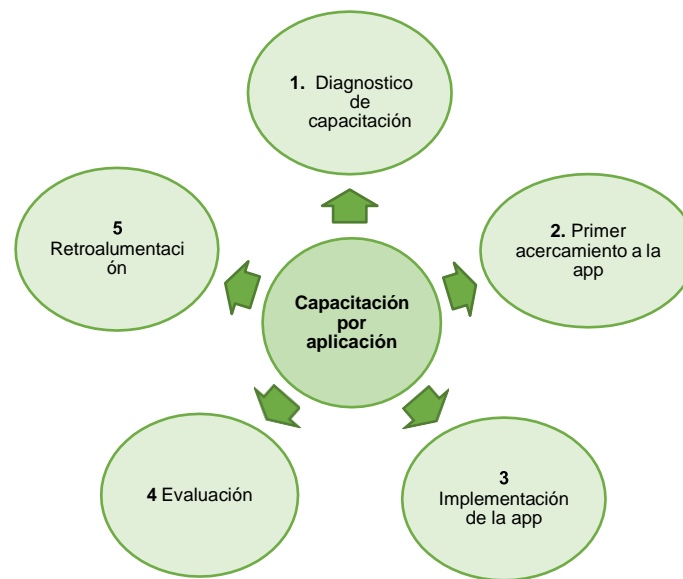


Figura 4. Etapas del proceso de capacitación por aplicación.

Primera etapa. Diagnóstico de capacitación: el aspirante a la vacante del departamento de contabilidad o finanzas ya sea por prestación de servicio social, prácticas profesionales, pasante, etc., requiere presentar un examen para conocer el dominio técnico-teórico sobre la elaboración, análisis e interpretación de estados financieros, y con ello determinar el control sobre la información financiera [figura 5]. El objetivo es identificar los lineamientos generales sobre el conocimiento de los estados financieros que posee el candidato y las áreas de deficiencia que se requieren trabajar mediante la capacitación.



Figura 5. Proceso de la primera etapa de capacitación

Segunda etapa. Primer acercamiento a la app: el personal de recursos humanos solicita al personal a capacitar que instale la app Edo-fin en su dispositivo móvil ya sea smartphone, Tablet o laptop; el personal interno de la empresa refiere que esta aplicación es una herramienta que le brindará las bases teóricas, normativas y metodológicas que se implementan dentro de la organización para la elaboración de estados financieros, la cual puede ser utilizada en cualquier momento y le permite manejar su propio tiempo, así mismo, dependiendo de su avance le realizara evaluaciones donde podrá conocer sus resultados y que llegaran de igual manera al departamento de RH, una vez instalada la app permite al miembro a ocupar el puesto familiarizarse con las funciones que desempeña el aplicativo. [figura 6] El objetivo de esta etapa es proporcionar la app y brindar información introductoria de su funcionamiento y su utilidad.



Figura 6. Elementos de la segunda etapa de capacitación

Tercera etapa. Implementación de la capacitación: en esta etapa se comienza con el proceso de enseñanza-aprendizaje, es decir, el usuario a capacitar comienza a operar el aplicativo, la primera parte es conocer la parte teórica y normativa mediante esquemas, video y lecturas las cuales tienen la opción de ser leídas por el dispositivo. La segunda parte es la parte estructural de los estados financieros aquí se visualiza como esta conformados y que rubros integran cada elemento. La tercera parte es realizar los ejercicios de cada uno de los estados financieros, esta se divide en 2 los ejercicios que se encuentran como parte de la literatura y los casos prácticos reales derivados de las operaciones realizadas por la organización. El objetivo de esta etapa es desarrollar las capacidades, habilidades, actitudes y potenciar el conocimiento mediante una aplicación sobre los estados financieros básicos. [figura7].



Figura 7. Ventajas que se desarrollan en la tercera etapa de la capacitación por aplicación

Cuarta etapa. Evaluación: después de haber realizado la tercera etapa y conocer la parte teórica, estructural y elaborar los ejercicios el nuevo trabajador y el personal de Recursos Humanos (RH) o administrativo está listo para conocer los resultados obtenidos y saber cuál ha sido su avance o si ya está listo para comenzar a realizar las operaciones dentro de la entidad sin presentar problemáticas al momento de ejecutar el trabajo, para conocer lo antes mencionado, el aplicativo procesa la información proporcionada en la etapa anterior respecto de los ejercicios realizados y los compara con las respuestas ya establecidas brindando una evaluación positiva o negativa. El objetivo de esta etapa es conocer el grado de avance que ha tenido el aspirante mediante las respuestas proporcionadas en la tercera etapa.

Quinta etapa. Retroalimentación: una vez concluida la etapa anterior ambos interesados conocen los resultados y dan pauta a esta última etapa ya que de ser necesario retomar algún elemento de la parte teórica práctica o metodológica, el aplicativo se los hará saber señalando puntualmente las deficiencias que encontró y el sujeto de nuevo ingreso debe regresar a ese apartado y visualizar de forma profunda el contenido de esto para evitar errores al momento de comenzar con las verdaderas operaciones de la empresa, mientras tanto, el personal a cargo de conocer los resultados del proceso de capacitación tendrá mejores referencias sobre el estado de conocimiento y dominio que posee el nuevo integrante sobre las operaciones y sobre aquellas lagunas que se deben trabajar para lograr una capacitación óptima. De igual manera de no encontrarse error alguno sobre las evaluaciones el aplicativo hará saber que está listo para ejercer las actividades [figura8]. El objetivo de esta etapa es mostrar tanto al personal a cargo de la capacitación como al nuevo miembro si está listo para realizar las operaciones minimizando el riesgo de errores y de no ser así señalar las áreas de mejora que faltan por trabajar.



Figura 8. Síntesis de las etapas cuarta y quinta del proceso de capacitación por aplicación

Resultados y discusión

Este estudio muestra que el uso de tecnología móvil para el aprendizaje no solo se limita a las aulas, el enfocarlo en el proceso de capacitación de personal en el departamento de contaduría o de finanzas en una organización podría fortalecer el aprendizaje de las operaciones realizadas, la implementación de aplicaciones móviles como lo es la herramienta Edo-fin podría impulsar este proceso ya que cuenta con el sustento teórico y metodológico de aprendizaje y de la normatividad financiera aplicable, al brindar escenarios de operaciones reales realizadas por las organizaciones, amplía la visión de los nuevos miembros de la entidad y permite el manejo de la app asincrónico y sincrónico dándole la oportunidad de avanzar a su tiempo, la limitante del estudio es que en la actualidad no se cuenta con mucha información respecto de estudios similares a este sobre la utilidad de aplicaciones móviles para capacitar al departamento contable.

A pesar de la carencia de trabajos de esta índole se puede rescatar que el estudio encontrado sobre un programa de entrenamiento basado en computador obtuvo resultados favorables respecto del aumento en el avance de los participantes que se vieron capacitados por una aplicación en cuanto a su nivel de estudio y resaltaron que se debió a la portabilidad y disponibilidad de acceso a la herramienta que tenían los involucrados. Este estudio comparado con nuestra propuesta vislumbra una posibilidad de transformar el entorno de los nuevos miembros a prestar servicios dentro de las organizaciones, nuestro proceso de capacitación propone puntualmente actividades más precisas y que contribuyen a la adaptación de tecnologías móviles y aplicaciones diseñadas específicamente para cumplir de forma idónea con las labores de la organización y con ello beneficiar el proceso de capacitación tradicional.

Por el momento la investigación propone un proceso de capacitación por aplicación el cual como se señaló anteriormente establece cada una de las etapas que se deben realizar para lograr que el nuevo miembro de la organización realice sus actividades con una disminución en riesgos de errores cometidos por el desconocimiento de la elaboración, manipulación, análisis e interpretación de la información financiera; quedando con la postura de aplicar el proceso para plasmar si es verdad que la parte teórica se adapta a los entornos reales actuales y a las exigencias del mercado laboral y profesional para conocer si este proceso es viable o idóneo de ser usado en las empresas.

Trabajo a futuro

En esta investigación se puede apreciar un trabajo cualitativo en el cual se estableció un proceso de capacitación mediante una app con base en lo anterior se pretende realizar un trabajo de corte cuantitativo para obtener datos estadísticos actuales sobre el funcionamiento de la aplicación en el proceso de capacitación de personal para la elaboración, análisis e interpretación de estados financieros con la intención de conocer si existen beneficios en la reducción de costos de capacitación, y mejoras en el desempeño de los capacitados por la aplicación con respecto de los capacitados por algún capacitador personal interno o externo.

Conclusiones

Este tipo de tecnología pretende ser eficiente, adaptativa, de calidad, de menor costo e impulsar las labores realizadas dentro de las entidades económicas del departamento de contabilidad y finanzas, otorgando un instrumento que mejora el proceso de capacitación de los futuros trabajadores para cumplir de forma cabal sus funciones y entregar sin errores la información financiera que guarda la entidad en un tiempo determinado.

La capacitación por aplicación es una propuesta que brinda escenarios virtuales de casos que se sustentan en las organizaciones, el fomentar este proceso contribuye en brindar al nuevo elemento las herramientas necesarias para trabajar con la información financiera que sustenta la empresa señalando los procesos y lugares de los cuales se debe extraer dicha información, lo que se propone es que el personal que utiliza este tipo de herramientas de capacitación logre un trabajo óptimo y se sienta capaz de ejercer sus funciones sin riesgo de cometer errores que desvíen el buen funcionamiento de las entidades, sino que por el contrario le permitan obtener información confiable para lograr una toma de decisiones oportuna y objetiva de la situación financiera real de la empresa.

Para una organización el contar con personal capacitado para trabajar con información financiera es esencial debido a que este departamento es el que distribuye las direcciones de la organización, sobre el recaen las decisiones presentes y futuras sobre los dineros, por ello los nuevos miembros que laboraran requieren contar con todos los elementos estructurales, teóricos y funcionales de las labores que ahí se desempeñan; las organizaciones que cuentan con personal capacitado dan cumplimiento a la obligación de la Ley Federal del Trabajo, pero a decir verdad las organizaciones que cuentan con personal apto para realizar actividades suelen tener una vida más presente y reconocida en el mercado laboral brindado plusvalía tanto en sus operaciones como en sus empleados.

Referencias

- [1] Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, *Ley Federal del trabajo*, México, 2022.
- [2] COLEGIO DE BACHILLERES, *Capacitación y desarrollo de recursos humanos*, México: Colegio de bachilleres, 2004.
- [3] A. Orozco Francia, *El impacto de la capacitación*, Editorial Digital UNID, 2017.
- [4] G. Dessler y R. A. Varela Juárez, *Administración de recursos Humanos*, vol. 2, México: Pearson Educación, 2004.
- [5] INEGI, «Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares 2020.,» 04 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/674/study-description>.
- [6] L. González Morales, «Metodología para el diseño instruccional en la modalidad b-learning desde la Comunicación educativa,» *RAZÓN Y PALABRA*, vol. 21, nº 3_98, pp. 32-50, 2017.
- [7] V. Quijada, «Virtual Learning,,» vol. 1, pp. 50-61, 2014.
- [8] A. Cedillo Hernández y L. Velázquez García, «Impacto del Modelo b-Learning en la Docencia Universitaria. 12(5).,» *Revista Internacional de Tecnología de la Información y la Educación*, vol. 12, nº 5, pp. 378-383, 2022.
- [9] J. Cabero Almenara y V. Marín-Díaz, «Blended learning y realidad aumentada: experiencias de diseño docente,» *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, vol. 21, nº 1, pp. 57-74, 2018.
- [10] H. Beetham y R. Sharpe, *Rethinking pedagogy for a digital age: designing for 21st century learning*, New York: Routledge, 2013.
- [11] INSIDER Noticias de marketing y publicidad digital, «Métodos de capacitación laboral: cómo elegir el más apropiado,» 23 02 2022. [En línea]. Available: <https://insiderlatam.com/metodos-de-capacitacion-laboral-como-elegir-el-mas-apropiado/>. [Último acceso: 18 03 2022].
- [12] I. Chiavenato, *Administración de recursos humanos. El capital humano*, México: McGRAW-HILL, 2011.

- [13] Seguridad Minera, «Entrenamiento basado en computador para operadores y mantenedores de planta,» 06 01 2014. [En línea]. Available: <https://www.revistaseguridadminera.com/capacitacion/entrenamiento-basado-en-computador-para-operadores-y-mantenedores-de-planta/#:~:text=El%20entrenamiento%20basado%20en%20computador,determinar%20su%20propia%20velocidad%20de>. [Último acceso: 25 02 2022].
- [14] . M. Mena Roa, «Android e iOS dominan el mercado de los smartphones,» Statista, 30 08 2021. [En línea]. Available: <https://es.statista.com/grafico/18920/cuota-de-mercado-mundial-de-smartphones-por-sistema-operativo/>. [Último acceso: 15 01 2022].

Ciudades + B desde la perspectiva de los stakeholders externos

Sainz Barajas Ma. Teresa de la Luz^{1*}, Chiñas Valencia Juan José², Aguirre Alemán María Guadalupe³, Clara Zafra Miguel Ángel⁴, Reyes Sánchez María Fernanda⁵

Universidad Veracruzana¹ y tsainz@uv.mx¹, Universidad Veracruzana² y jchinas@uv.mx², Universidad Veracruzana³ y gaguirre@uv.mx³, Universidad Veracruzana⁴ y mclara@uv.mx⁴, Universidad Veracruzana⁵ y zs18014553@estudiantes.uv.mx⁵

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Las sociedades hoy en día comienzan a demandar un rol ciudadano activo, que no solo realice un análisis crítico de las necesidades sociales, sino que se involucre en la conformación de ciudades sustentables donde la detección de las penurias de la población sea la idónea para garantizar una calidad de vida equitativa e incluyente, que refleje que las respuestas son adecuadas y eficientes; es por ello que surge la inquietud de realizar una investigación de tipo no experimental, transversal, descriptiva, correlacional y explicativa; cuyo objetivo consistió en diagnosticar la perspectiva de los stakeholders externos con respecto a las ciudades + B en el contexto de Coahuila de Zaragoza. Entre los principales hallazgos, se puede afirmar que los encuestados, hasta el momento no cuentan con un amplio espectro sobre lo que son las ciudades + B y los que menos idea tienen al respecto, son los que conforman el grupo de la Administración Pública.

Palabras clave: stakeholders, ODS, ciudades + B

Abstract (150 words at most, Arial 10)

Societies today are beginning to demand an active citizen role, which not only carries out a critical analysis of social needs, but also becomes involved in the creation of sustainable cities where the detection of the population's hardships is ideal to guarantee a equitable and inclusive quality of life, reflecting that the responses are adequate and efficient; that is why the concern arises to carry out a non-experimental, cross-sectional, descriptive, correlational and explanatory type of research; whose objective was to diagnose the perspective of external stakeholders regarding the + B cities in the context of Coahuila de Zaragoza. Among the main findings, it can be affirmed that those in the basket, until now, do not have a broad spectrum about what + B cities are and those that have the least idea about it, are those that make up the public administration group.

Key words: Stakeholders, SDG, cities + B

Introducción

En la actualidad, el mundo ha atravesado distintos fenómenos que poco a poco van dañando a la comunidad como a las ciudades mismas, y es que tan solo se estima que más de la mitad de la población vive en ciudades. Más del 90% del crecimiento urbano se localiza en países en desarrollo, que representa alrededor de 70 millones de nuevos habitantes en ciudades cada año [1].

Las ciudades son lugares de oportunidad, motores de la economía, impulsoras del desarrollo social y empleo, proveedoras de servicios y bienes fundamentales, entre otros aspectos que las caracterizan; de ahí la necesidad de un pensamiento sustentable, puesto que de estas se obtiene lo indispensable para sobrevivir y prosperar, se debe buscar un equilibrio de lo económico, social y ambiental, con el objetivo de que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.

Coahuila de Zaragoza, como otros lugares del mundo, ha atravesado por distintos problemas ambientales, económicos y sociales a través del tiempo, tales como el desempleo, la pobreza, desigualdad social, inequidad de género, el consumo abusivo de los recursos naturales, la contaminación del aire y agua, entre otros, que cada vez son más preocupantes y por lo que esta no puede ser considerada como una ciudad sustentable o inteligente. Tan solo en

la actualidad, no se percibe seguridad en lo absoluto, ya que la delincuencia está a la orden del día, los secuestros, asaltos, robos, asesinatos, entre otros, no han parado desde hace años. De igual manera, no se cuenta con una correcta renovación de espacios públicos (infraestructura urbana en óptimas condiciones, visualizada en calles, parques, alumbrado público), tampoco existen iniciativas para la reducción de CO₂ como en otras ciudades, donde buscan ofertar diferentes medios de transporte como bicicletas o autobuses eléctricos para promover el cuidado del medio ambiente. Estos, solo por mencionar algunos. Y es que, tal como lo menciona Wackernagel [2], aun cuando las ciudades sean las más importantes contribuidoras al Producto Global Económico, también son las más grandes consumidoras de recursos y productoras de desechos.

Ante esta situación, es determinante y fundamental la participación de la ciudadanía en su totalidad; desde niños, jóvenes y adultos, así como de los distintos órganos sociales, políticos y económicos de la comunidad para generar conciencia de la importancia de ser un miembro activo en la detección, prevención y/o solución de los diferentes problemas que se presentan previos a calificar como una ciudad + B.

En un amplio sentido, el objetivo consistió, en diagnosticar la perspectiva de los stakeholders externos con respecto a las ciudades +B, en el contexto de Coatzacoalcos, Veracruz; y por lo tanto, como hipótesis general de investigación se planteó: los stakeholders externos de Coatzacoalcos tienen una amplia perspectiva con respecto a las ciudades + B en el contexto de Coatzacoalcos, Veracruz.

MARCO TEÓRICO

Partes interesadas (stakeholders)

Están representadas por individuos o grupos de interés, expresos o implícitos, que apuestan voluntaria o involuntariamente, poniendo algo en riesgo, para gestionar la organización e influenciar en la consecución de los objetivos empresariales [3], y pueden agruparse en internos, los que están relacionados directamente con la empresa como socios, directivos, colaboradores y proveedores; y los externos, los cuales no están relacionados de manera directa con la empresa, por ejemplos, consumidores, gobierno, grupos de presión, sociedad, entre otros [4].

Debido a la relevancia de estos actores, se ha desarrollado un nuevo modelo específico de gobernanza multistakeholder (el cual sigue en evolución), considerado como el mayor indicador de la globalización económica y política. Se ha demostrado que este modelo es capaz de combatir los conflictos que se manifiestan actualmente, además de mantener una estructura compleja actuando en todo el mundo.

Dicha gobernanza también denominada multipartes, es definida por Peake [5] como una forma de gobernanza y de toma de decisiones basadas en la cooperación entre distintos grupos de interés para encontrar soluciones a sus problemas u objetivos comunes. Algunos de los grupos de interés involucrados son comúnmente del sector privado, la sociedad civil, los gobiernos, la academia y la comunidad técnica.

Por consiguiente, la sociedad y las organizaciones de distintos entornos participan en conjunto para compartir ideas o desarrollar políticas en común acuerdo, de forma que al integrar los diversos intereses, conocimientos y experiencias se podrán formular propuestas que traigan beneficios reales a las personas.

Los principales atributos de este tipo de gobernanza muestran que las decisiones son mejores si son tomadas colaborativamente y con eficiencia, porque pueden ofrecer resultados viables que todas las partes interesadas podrán implementar. Algunos de estos beneficios son [6]:

- **Inclusión.** Es la base de la legitimidad de la toma de decisiones colaborativa. Aquellos que puedan ser perjudicados por la decisión deberían tener la oportunidad de participar. Cuanto menos inclusivo sea el proceso, es menos probable que genere confianza y apoyo por parte de los participantes.
- **Transparencia.** Es un requisito previo para la inclusión en el proceso, ya que conecta a expertos y grupos de interés. La transparencia también proporciona la legitimidad básica porque ayuda a documentar que todos los interesados han sido escuchados.
- **Responsabilidad colectiva.** Es el compromiso del individuo con el otro, pensando y actuando de manera que se produzcan resultados positivos, cuyo fin es siempre el beneficio social y la protección mutua.
- **Toma e implementación eficaz de decisiones.** Las decisiones más efectivas se basan en un proceso abierto y cuidadoso que toma en cuenta múltiples fuentes y perspectivas. Esto se aplica tanto a la calidad como a la ejecución de las decisiones.

- Colaboración mediante una gobernanza distribuida e interoperable. La colaboración es el proceso mediante el cual dos o más personas u organizaciones trabajan juntas para lograr a un objetivo común.
- Se necesita reconocer esta autonomía y mantener el diálogo y la participación mutua en áreas donde se superponen diferentes organizaciones.

Entonces, la mayoría de la población vive, trabaja, se mueve y consume en la ciudad; que, de hecho, es donde se genera la mayor parte de la contaminación. Por este motivo, la ONU en 2015 planteó dentro los ODS, un objetivo dedicado a las Ciudades y Comunidades Sostenibles, las cuales tienen como fin lograr que las ciudades o asentamientos sean inclusivos, seguros, resilientes y, sobre todo, sostenibles.

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

El 25 de septiembre de 2015 más de 150 líderes mundiales asistieron a la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible en Nueva York, con el fin de aprobar la Agenda para el Desarrollo Sostenible; dicho documento, incluye los 17 ODS, los cuales son definidos como los mecanismos adecuados que permiten que los ciudadanos y sus líderes participen en la búsqueda de consensos sociales y la superación de brechas [7].

Adicional a esta definición, es que los ODS incorporan elementos novedosos en su diseño, como la integración de las tres dimensiones del desarrollo sostenible: la económica, social y ambiental, buscando priorizar la lucha contra la pobreza y el hambre, sin perder de vista la defensa de los derechos humanos, igualdad de género y el empoderamiento de las mujeres, abordando la reducción de las desigualdades dentro de cada país y entre los diferentes estados [8].

En conjunto, los ODS incorporan una visión del mundo donde se busca un crecimiento económico inclusivo además de sostenible, respetando a la población como al planeta. Por lo que, es necesario ser cooperativos y seguir abogando por temas como estos y ser parte de una mejor sociedad.

Ciudades + B

Las ciudades + B movilizan a cientos de miles de personas (ciudadanos y organizaciones) para perseguir los ODS y redefinir la rendición de cuentas a través de una gobernanza descentralizada y multistakeholder. Este es un movimiento global para trabajar juntos para promover el cambio cultural y el impacto en las ciudades que se construyen y se viven [9].

Resulta indispensable involucrarse en esfuerzos e iniciativas para hacer de cada empresa un objeto de cambio. El movimiento está liderado por Gulliver, Systema B y la Fundación BMW. En este tipo de ciudades, todos participan sin necesidad de que exista una estrategia específica (ciudadanos, empresas, gobierno, emprendedores, etc.); de esta manera, los medios para llegar al objetivo común son múltiples y variados, incluso cuando cada miembro persigue sus propias metas y beneficios, estará en sintonía con el propósito acordado [8].

En pocas palabras, las Ciudades + B [9], existen para que todos los actores de la ciudad puedan participar colaborativamente en el desarrollo sostenible de ella. Los objetivos que persigue este movimiento son:

- Cultivar redes globales colaborativas. Es decir, entre ciudades del mundo que compartan experiencias, conocimientos y aprendizajes.
- Cultivar redes locales colaborativas. Coordinar redes locales colaborativas de organizaciones públicas, privadas y de la sociedad civil, que tengan como objetivo común movilizar a ciudadanos, organizaciones y empresas para ser activos agentes de cambio por la transformación positiva de sus ciudades, territorios y entornos.
- Construir equipos motores. Constituir grupos promotores multisectoriales en cada ciudad, que trabajen en forma articulada y permanente para avanzar hacia el logro de una ciudad más inclusiva, resiliente, próspera y sostenible.
- Comprometer al sector privado con los desafíos de su ciudad. Comprometer a las empresas a redefinir su modelo de negocios y sus prácticas para potenciar sus impactos sociales y ambientales responsabilizándose por su aporte en el devenir de la sociedad y el medio ambiente.
- Buscar activamente sinergias. Involucrar a los más importantes agentes económicos de cada ciudad para trabajar colaborativamente hacia un objetivo común, utilizando la fuerza de los negocios y del mercado como catalizador de cambios positivos.

- Comprometer a los jóvenes con la ciudad. Movilizar a los jóvenes agentes de cambio para que, desde su capacidad emprendedora e innovadora, empujen los cambios necesarios en la ciudad de forma constructiva y positiva.

Las ciudades + B están en constante crecimiento. No existe un modelo único, al contrario, cada uno implementa su propia solución. Por supuesto, las medidas que se tomen deben buscar un equilibrio entre desarrollo y bienestar.

Dicho con palabras de las Naciones Unidas [9], actualmente cerca de 3,500 millones de personas viven en ciudades y con un aumento constante de la población, por lo que, las soluciones a algunos de las principales problemáticas a las que se enfrentan los seres humanos (pobreza, cambio climático, asistencia sanitaria, educación, etc.) deben encontrarse en la vida de la ciudad. Estos problemas afectan a todos los ciudadanos.

La desigualdad es motivo de gran preocupación, los niveles de consumo de energía y de contaminación en las zonas urbanas son también preocupantes. Muchas ciudades son también más vulnerables al cambio climático y a los desastres naturales debido a su elevada concentración de personas y su ubicación, por lo que reforzar la resiliencia urbana es crucial para evitar pérdidas humanas, sociales y económicas.

Se ha señalado que, la desigualdad puede provocar disturbios e inseguridad, la contaminación deteriora la salud de todos y afecta a la productividad de los trabajadores y por tanto a la economía, y los desastres naturales pueden alterar el estilo de vida general.

El costo de una deficiente planificación urbanística puede apreciarse en los enormes barrios marginales, el intrincado tráfico, las emisiones de gases de efecto invernadero y los extensos suburbios de todo el mundo. Al optar por actuar de manera sostenible, se ha tomado la decisión de construir ciudades donde todos los ciudadanos disfruten de una digna calidad de vida y formar parte de la dinámica productiva de la ciudad generando prosperidad compartida y estabilidad social sin perjudicar el medio ambiente.

Metodología

Materiales

Con la finalidad de llevar a cabo la indagatoria, se planteó una investigación de tipo no experimental, transversal, descriptiva, correlacional y explicativa [11]. Es no experimental cuantitativa, ya que estos estudios se realizan sin la manipulación de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos, es transversal descriptiva porque examina la repercusión de las modalidades, categorías o niveles de una o más variables en una población, es decir, son estudios puramente descriptivos, correlacional porque su propósito es conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en específico, y, finalmente, explicativa porque trata de determinar las causas de los hechos o fenómenos en estudio.

El instrumento de recopilación a utilizar será un cuestionario dirigido a los stakeholders externos, es decir, a la comunidad local, público en general, distribuidores y socios comerciales, proveedores, competidores, agentes sociales y administraciones públicas. Dicho instrumento fue construido con base en el documento llamado “¿Cómo logramos los Objetivos de Desarrollo Sostenible?” [12]

El cuestionario está integrado por 46 ítems, seccionado en tres partes; en la primera se encuentran cinco de ellos, de corte sociodemográfico, como género, edad, estado civil, nivel máximo de estudios y al grupo de interés al que pertenecen. Por otro lado, en la sección dos, se encuentran 19 enunciados relacionados con las ciudades +B, tomando en cuenta los siguientes valores: 1=Totalmente en desacuerdo, 2=Desacuerdo, 3=Indiferente, 4=Acuerdo y 5=Totalmente de acuerdo. Y finalmente la sección tres se conforma por enunciados que abordan acciones hacia el cumplimiento de los ODS, tomando en cuenta las opciones sí y no.

Para determinar qué tan viable y confiable es el instrumento, se realizó una prueba de fiabilidad a partir del coeficiente del Alfa de Cronbach, en el cual sus valores oscilan entre cero y uno, siendo entre .70 y .90 los valores generalmente más aceptables [12]. Sampieri [11] menciona que su ventaja reside en que no es necesario dividir en dos mitades a los ítems del instrumento de medición, simplemente se aplica la medición y se calcula el

coeficiente, en este instrumento se obtuvo un valor de 0.916, lo que indica que cuenta con un nivel de fiabilidad excelente.

En lo que se refiere a la población y la muestra, debido a que cada uno de los habitantes de Coatzacoalcos, juega un rol social, cada uno de ellos puede formar parte de la muestra. De acuerdo con datos de [13], en 2020, la población en Coatzacoalcos fue de 310,698 habitantes (48% hombres y 52% mujeres), lo cual indica un crecimiento de 1.78% con respecto a los números registrados en 2010. Con base al total de la población en 2020, es posible obtener una muestra con el software SurveyIM, con 95% de confianza y 5% de margen de error de 384. Cabe mencionar, que la estrategia de muestreo utilizada es no probabilística; esta es una técnica de muestreo en la cual el investigador selecciona muestras basadas en un juicio subjetivo en lugar de hacer una selección al azar. De manera específica, el tipo de muestreo no probabilístico a utilizar será por conveniencia, debido a sus bondades con las características de la presente investigación, ya que el investigador cuenta con el consentimiento para seleccionar las muestras tan solo porque éstas se encuentran convenientemente disponibles, son fáciles de reclutar y porque a población es demasiado grande para evaluar y considerar a toda la población.

Es importante mencionar que la muestra real lograda fue de 236 stakeholders internos y externos, sin embargo, en esta investigación únicamente se tomarán en cuenta 126 stakeholders correspondientes a externos, que, de acuerdo con el instrumento de recopilación, están clasificados del 3 al 10 y son: distribuidores y socios comerciales (12), proveedores (13), competidores (18), agentes sociales (13), administraciones públicas (14), comunidad local (14) y finalmente, público en general (42).

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se observa que el 50% de los encuestados fueron mujeres y el 50% restante corresponde a los hombres, de entre 16 a 74 años, siendo el rango de 15 a 24 años las edades que más se repiten, seguido de las edades de 45 a 54 años, correspondientemente. Respecto al estado civil, se muestra que más de la mitad de las personas encuestas, es decir, 51.6% son solteros, mientras que el 48.4% restante corresponde a personas casadas. Los 126 encuestados cuentan con grados de estudio tales como secundaria, bachillerato, licenciatura, maestría y doctorado, con porcentajes del 8.0%, 33.3%, 38.9%, 13.5 y 6.3% respectivamente; 12 son clasificados como distribuidores y socios comerciales, 13 como proveedores, 18 como competidores, 13 como agentes sociales, 14 correspondiente a administraciones públicas, 14 a comunidad local y 42 de ellos forman parte del público en general.

Tabla 1. Datos sociodemográficos.

Variable	Frecuencia absoluta						Total	
Género	Femenino			Masculino			126	
	63			63				
Edad	15-24	25-34	35-44	45-54	55-64	65-74	126	
	33	21	23	31	15	3		
Estado civil	Soltero (a)			Casado (a)			126	
	65			61				
Nivel máximo de estudios	Secundaria		Bachillerato	Licenciatura	Maestría	Doctorado	126	
	10		42	49	17	8		
Stakeholders	Distribuidores y socios comerciales	Proveedores	Competidores	Agentes sociales	Administraciones públicas	Comunidad local	Público en general	126
	12	13	18	13	14	14	42	

Nota: Elaboración propia a partir del análisis de los datos obtenidos del IBM SPSS Statistics 25.

En la Tabla 2, se incluyen las medias generales (es decir, de los siete tipos de stakeholders), donde se tiene que con medias altas desde 4.1 hasta 4.2, los encuestados están de acuerdo con que una ciudad +B es un movimiento para movilizar a personas para colaborar en pro de los ODS, cuentan con sentido de pertenencia con su ciudad, son empáticos con las personas, consideran que las empresas privadas pueden incidir en el rumbo de un país, entre otros.

Por otro lado, representando las medias más bajas, los encuestados se encuentran con una postura entre indiferente y de acuerdo con que existen partes del pasado que deseo rescatar y resaltar para ir cultivando un “nosotros/nosotras” inclusivo y que convoque a cuidar colectivamente la ciudad, además de la sinergia entre

empresas, personas, escuelas, proveedores, asociaciones, instancias de gobierno, en pro de la sostenibilidad e identifican iniciativas que pueden convocar a miles de personas a participar colaborativamente en una IMIC. Como última observación, se tiene que, aun cuando las medias más bajas de los ítems se encuentren por arriba del tres, aún se cuentan con áreas de oportunidad las cuales servirán para ir mejorando en pro de las ciudades + B.

Tabla 2. Medias generales por ítems sobre Ciudades + B.

Variable	Media
1. Movimiento para movilizar a personas	4.1
2. Sentido de pertenencia	4.1
3. Intereses y preocupaciones	4.0
4. Empatía con las personas	4.1
5. Empresas privadas	4.1
6. Responsabilidad de empresas privadas	4.1
7. Poder creciente la ciudadanía	4.1
8. Desarrollo de una gran fuerza de la ciudadanía	4.0
9. Capacidad de liderar el cambio	4.0
10. Cambiar a los gobernantes	4.2
11. Partes del pasado	3.8
12. Procesos, procedimientos, hábitos y costumbres	4.0
13. Ciudad más inclusiva y sostenible	3.9
14. Sinergia entre partes	3.8
15. Impacto colectivo visible	4.1
16. Acciones colectivas	4.0
17. Iniciativas con financiamiento	4.0
18. Participar con una IMIC	3.7
19. Grupos motores multisectoriales	4.0
Media general	4.0

Nota: Elaboración propia a partir del análisis de los datos obtenidos del IBM SPSS Statistics 25.

Tal como se aprecia en la Tabla 3, 58 personas consideran que en su ciudad existen empresas, personas, escuelas, proveedores, asociaciones e instancias del gobierno que están realizando actividades, prácticas, espacios de acción en pro de la creación de empleos sostenibles, mientras que 68 consideran que no es así. 84 consideran que se promueve la equidad de género, y 42 no. 47 personas piensan que sí hay una reducción del desperdicio de comida, mientras que 79 piensan lo contrario.

De igual manera, 72 los encuestados opinan que sí se apoya a los agricultores locales, y 54 no lo considera así; 69 de ellos opinan que si se garantiza una vida saludable y 57 de ellos opinan que no es así. El 41.3% toma en cuenta que se promueve el bienestar universal y el 58.7% considera lo contrario. El 62.7% creen que se están educando a los niños en la comunidad, por otro lado, el 37.3% no lo cree así.

Además, el 61.9% estima que se están empoderando a las mujeres y niñas, el 59.5% cree que se defiende la igualdad de género, y finalmente, el 31% opina que se está limpiando el agua de los ríos y océanos. Así mismo, 32 personas consideran que se está adoptando la energía asequible y no contaminante, mientras que 94 consideran que no es así; 80 consideran que se favorece el crecimiento económico, y 46 no; por otra parte, 70 personas piensan que sí se está invirtiendo en la industria, innovación e infraestructura, mientras que 56 piensan lo contrario.

El 43.7% toma en cuenta que se reducen las desigualdades y el 56.3% considera lo contrario. El 38.1 % creen que se está participando en la conversión sostenible de ciudades y comunidades, por otro lado, el 61.9% no lo cree así. Se observa que, el 55.6% estima que no se fomenta la producción y el consumo responsable, el 71.4% cree que no se está reduciendo el calentamiento global, y finalmente, el 70.6% opina que no se está conservando ni utilizando en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible; 96 personas consideran que no se están gestionando sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad. De igual forma, 75 personas consideran que no se lucha en pro del acceso universal a la justicia y la construcción de instituciones responsables y eficaces a todos los niveles y 71 personas piensan que no se están revitalizando alianzas para el desarrollo sostenible.

En resumen, con base en los datos vistos anteriormente, es preciso mencionar que algunos de los resultados son contradictorios, ya que los encuestados viven en la misma ciudad y hay variaciones en sus respuestas; probablemente esto suceda porque no tienen el suficiente conocimiento de cómo se llevan a cabo algunas de estas acciones en Coatzacoalcos.

Tabla 4. Frecuencias absolutas y relativas por ítem respecto a las acciones hacia el cumplimiento de los ODS.

"En tu ciudad" existen empresas, personas, escuelas, proveedores, asociaciones e instancias del gobierno que estén realizando actividades, prácticas, espacios de acción en pro de:	SI		NO	
	N	%	N	%
Crear empleos sostenibles	58	46	68	54
Promover la equidad de género	84	66.7	42	33.3
Reducción del desperdicio de comida	47	37.3	79	62.7
Apoyar a los agricultores locales	72	57.1	54	42.9
Garantizar una vida saludable	69	54.8	57	45.2
Promover el bienestar universal	52	41.3	74	58.7
Educar a los niños en la comunidad	79	62.7	47	37.3
Empoderar a las mujeres y niñas	78	61.9	48	38.1
Defender la igualdad de género	75	59.5	51	40.5
Limpiar el agua de los ríos y océanos	39	31	87	69
Adoptar la energía asequible y no contaminante	32	25.4	94	74.6
Favorecer el crecimiento económico	80	63.5	46	36.5
Invertir en la industria, innovación e infraestructura (carreteras, agua, saneamiento y electricidad)	70	55.6	56	44.4
Reducir las desigualdades	55	43.7	71	56.3
Participar en la conversión sostenible de ciudades y comunidades	48	38.1	78	61.9
Fomentar la producción y el consumo responsables	56	44.4	70	55.6
Incidir en la disminución del calentamiento global	36	28.6	90	71.4
Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible	37	29.4	89	70.6
Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad	30	23.8	96	76.2
Luchar en pro del acceso universal a la justicia y la construcción de instituciones responsables y eficaces a todos los niveles	51	40.5	75	59.5
Revitalizar alianzas para el desarrollo sostenible	55	43.7	71	56.3

Nota: Elaboración propia a partir del análisis de los datos obtenidos del IBM SPSS Statistics 25.

Para la prueba de hipótesis se tomó en cuenta que la muestra posee un tamaño de participación mayor a 50 [16], por lo cual se eligió la Z de Kolmogorov-Smirnov en donde se obtuvo un p-valor de 0.000; lo que demuestra que la distribución de los datos es no normal, esto tomando en cuenta que cuando es mayor a 0.05 es considerada una distribución normal. Con ello se determinó que el contraste de la hipótesis que se plantea se analizará con pruebas no paramétricas.

Tabla 5. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra.

		Stakeholders	Ciudad+B
N		126	126
Parámetros normales ^{a,b}	Media	7.70	4.14
	Desv. Desviación	2.125	0.787
Máximas diferencias extremas	Absoluto	0.194	0.293
	Positivo	0.139	0.247
	Negativo	-0.194	-0.293
Estadístico de prueba		0.194	0.293
Sig. asintótica(bilateral)		.000 ^c	.000 ^c

Nota: Elaboración propia a partir del análisis de los datos obtenidos del IBM SPSS Statistics 25.

En la Tabla 6 se indica una significancia de 0.761, lo que quiere decir que no existen diferencias significativas entre la percepción de la aplicación de las ciudades + B en Coatzacoalcos de acuerdo con los stakeholders externos; nuevamente, tomando como parámetro 0.05; por lo tanto, no es posible aceptar la hipótesis general de investigación, es decir, los stakeholders externos de Coatzacoalcos, no cuentan con una amplia perspectiva con respecto a las ciudades + B, en el contexto de Coatzacoalcos, Veracruz.

Tabla 6. Prueba de hipótesis a través de U de Mann-Whitey,

Estadísticos de prueba	
	Stakeholders externos
U de Mann-Whitney	239
W de Wilcoxon	317
Z	-0.304
Sig. asintótica(bilateral)	0.761

Nota: Elaboración propia a partir del análisis de los datos obtenidos del IBM SPSS Statistics 25.

Lo anterior, llevó a tomar la decisión de buscar una prueba para analizar más a detalle la hipótesis, considerando así el Análisis de Correspondencia Múltiples (ACM), que de acuerdo con Soria [17], permite posicionar relacionamente unidades de análisis conforme a un conjunto de variables y plasmar la multiplicidad resultante tanto gráfica como analíticamente. En la Tabla 7, se observa el resumen del modelo para el ACM, los datos de este modelo muestran la varianza contabilizada, la cual consta de dos dimensiones, lo cual expresa la distribución de las variables que se están estudiando.

La varianza de las dimensiones 1 es de 28.493 y de la 2 es de 9.065, con un total de 37.558, lo que implica que el modelo representa un 18.779 de la varianza del total de los datos obtenidos en el estudio. Con lo anterior, se afirma que los datos del modelo relatan que el ACM será óptimo para visualizar la asociación entre las variables.

Tabla 7. Resumen del modelo para el ACM derivados de la prueba de X².

Dimensión	Alfa de Cronbach	Varianza contabilizada para		
		Total (autovalor)	Inercia	% de varianza
x2	0.880	6.268	0.285	28.493
2	0.522	1.994	0.091	9.065
Total		8.263	0.376	
Media	.794a	4.131	0.188	18.779

Nota: Elaboración propia a partir del análisis de los datos obtenidos del IBM SPSS Statistics 25.

En la Figura 1, se muestra el ACM correspondiente a la asociación entre las variables de estudio (stakeholders externos y la percepción de la aplicación de las ciudades + B en Coatzacoalcos). La combinación de los ejes de la dimensión 1 (horizontal) y 2 (vertical) indican las asociaciones, y se muestra un poder explicativo que rebasa el 18% de la variabilidad total de las variables. Se observa que los proveedores perciben una mayor aplicación en Coatzacoalcos acerca de la creación de empleos sostenibles, la promoción de equidad de género, la reducción del desperdicio de comida, el apoyo a los agricultores locales, el garantizar una vida saludable, la promoción del bienestar universal, la educación a los niños en la comunidad, el empoderamiento a las mujeres y niñas, la defensa de la igualdad de género, el favorecimiento al crecimiento económico, la inversión en la industria, la reducción de las desigualdades, la fomentación de la producción y el consumo responsables, la lucha en pro del acceso universal a la justicia y finalmente, a revitalizar alianzas. Sin embargo, estos no consideran que se esté limpiando el agua de los ríos y mares, que se esté adoptando la energía asequible, que haya una participación en la conversión sostenible, que se esté disminuyendo el calentamiento global, que se esté conservando los mares ni que se estén gestionando sosteniblemente los bosques. Por otro lado, los distribuidores y socios comerciales están más orientados hacia el no en todas estas acciones, es decir, no consideran que se estén aplicando estas iniciativas en Coatzacoalcos. Los competidores, únicamente no consideran que se esté limpiando ni conservando el agua de ríos y mares ni que se estén gestionando sosteniblemente los bosques; a diferencia de los agentes sociales, quienes puntualizan lo contrario.

Asimismo, la comunidad local solo está de acuerdo en que en Coatzacoalcos se está apoyando a los agricultores y limpiando el agua de ríos y mares. Respecto a las administraciones públicas, las personas perciben que, si se están creando empleos sostenibles, promoviendo la equidad de género, reduciendo el desperdicio de comida, garantizando la vida saludable, educando a los niños, empoderando a las mujeres y niñas, defendiendo la igualdad de género, favoreciendo el crecimiento económico, invirtiendo en la industria, y revitalizando alianzas.

Por último, se tiene que el público en general percibe que, si se están creando empleos sostenibles, promoviendo la equidad de género, educando a los niños de la comunidad, empoderando mujeres y niñas, defendiendo la igualdad de género e invirtiendo en la industria.

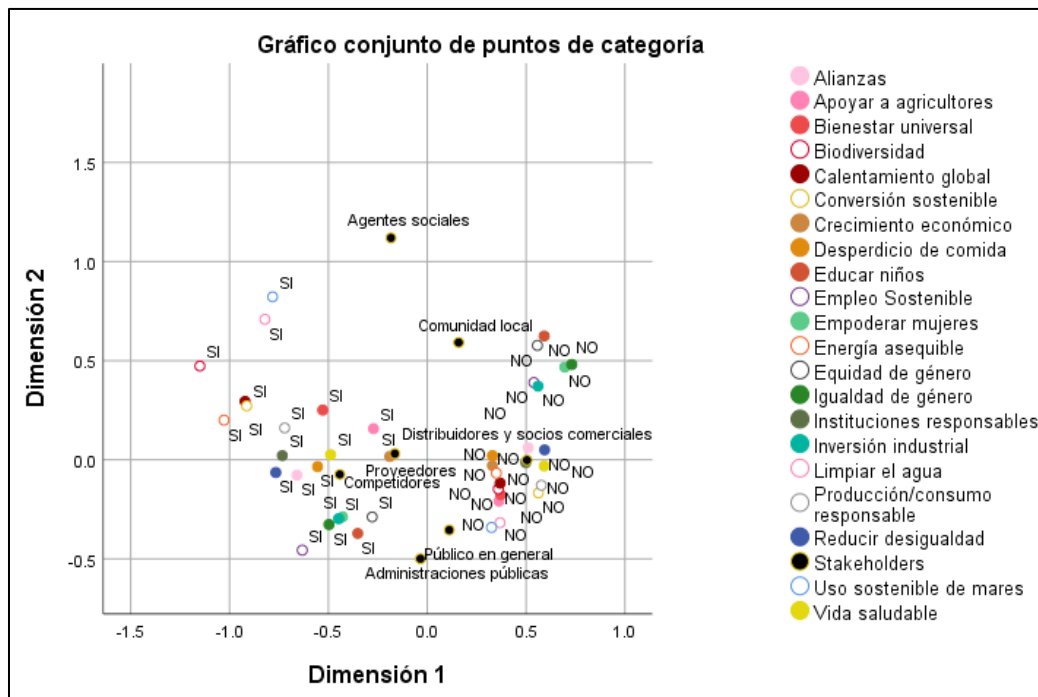


Figura 1. Gráfico ACM de la percepción de la aplicación de las Ciudades+B por los stakeholders externos en Coatzacoalcos. Elaboración propia a partir del análisis de los datos obtenidos del IBM SPSS Statistics 25.

Conclusiones

Para finalizar, se tiene que los stakeholders externos de Coatzacoalcos están de acuerdo con que son las empresas privadas quienes pueden incidir en el rumbo de un país, así como que estas mismas tienen una responsabilidad política, histórica y social, cada vez más visible y exigida por la ciudadanía. Esto resulta importante ya que el primer paso para avanzar hacia una ciudad sustentable es identificar y contar con el compromiso de actores locales relevantes, tal como se menciona en el sitio web de Cities Can B [9]. Fue de esta manera como iniciaron varias de las iniciativas alrededor del mundo en pro de la sostenibilidad, como el caso de Río + B, Mendoza + B y Stgo + B, donde fueron justamente las organizaciones quienes tomaron la iniciativa para activar a cientos de otras empresas y movilizar así a miles de personas de sus respectivas ciudades; buscando fortalecer la coordinación de todos los actores de la comunidad y de esta manera, reducir daños actuales e impulsar la recuperación social, ambiental y económica de la ciudad en un futuro.

Por otro lado, en una investigación acerca de las Ciudades Inteligentes en México [17], mencionan que el uso de las TIC como instrumentos sociales facilitan la información del territorio y sirven como auxiliares en la toma de decisiones gubernamentales para la solución de los problemas públicos, por lo que existe una similitud con los stakeholders externos de Coatzacoalcos, quienes están de acuerdo con que no se trata de cambiar a los gobernantes para que ellos a su vez cambien el mundo, sino de actuar coordinadamente para ser y hacer pasar los cambios que se quieren, es decir, se busca implementar la gobernanza multistakeholder y con ello ser una ciudad más inclusiva, transparente, responsable colectivamente, colaborativa y que toma e implementa decisiones eficazmente, tal como se menciona en el sitio web Internet Society [6].

Es posible afirmar que quienes tienen mayor conocimiento acerca de las Ciudades + B son los agentes sociales y la comunidad local, y quienes menor conocimiento tienen son las administraciones públicas y el público en general, algunas de las mayores problemáticas a las que debe darse respuesta son la limpieza del agua de los ríos y océanos, la adopción de la energía asequible y no contaminante, la incidencia en la disminución del calentamiento global, la gestión sostenible de los bosques, la lucha contra la desertificación, la detención e inversión de la degradación de las tierras así como de la pérdida de biodiversidad, por mencionar algunas; por lo que no debe bajarse la guardia sino, como comunidad, estar encaminados en pro de la sostenibilidad.

Por último, cabe mencionar que inesperadamente, algunos resultados de la investigación fueron contradictorios acerca de las acciones en pro de la sostenibilidad en Coatzacoalcos, ya que como el instrumento de recopilación fue aplicado en dicha ciudad, se esperaba que la mayor parte de los encuestados tuvieran una perspectiva similar. También fue sorprendente que quienes menor conocimiento tengan acerca de las Ciudades+B sean las administraciones públicas, pues son los integrantes de estas quienes se encargan de gestionar y administrar organismos, instituciones y entes del Estado y quienes podrían tener una mayor influencia sobre la sociedad hacia el cumplimiento de los ODS.

Referencias

- [1] Biblioteca de Publicaciones Oficiales del Gobierno de la República, «Gov.mx,» 2018. [En línea]. Available: [https://www.gob.mx/publicaciones/articulos/ciudades-sostenibles-en-mexico-una-propuesta-conceptual-y-operativa-129457?idiom=es#:~:text=M%C3%A1s%20de%2090%25%20del%20crecimiento,mundial%20\(UNPF%2C%202007\)..](https://www.gob.mx/publicaciones/articulos/ciudades-sostenibles-en-mexico-una-propuesta-conceptual-y-operativa-129457?idiom=es#:~:text=M%C3%A1s%20de%2090%25%20del%20crecimiento,mundial%20(UNPF%2C%202007)..)
- [2] M. Wackernagel, «Jstor.org,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.jstor.org/stable/20742894>.
- [3] R. E. Freeman, *Strategic Management: A Stakeholder*, Boston: Pitman, 1984.
- [4] C. Morán, L. Rodríguez, M. Torres, A. Aguilar y M. Villalta, «Stakeholders, responsabilidad social en Ecuador,» *Revista Científica y Tecnológica*, 2016.
- [5] A. Peake, «The Multi-stakeholder Approach to Internet Governance a Model to Replace Multilateralism?,» 2017.
- [6] Internet Society, «Internetsociety.org,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.internetsociety.org/es/resources/doc/2016/gobernanza-de-internet-por-que-funciona-el-enfoque-de-multiples-partes-interesadas/>.
- [7] A. J. Mohammed, «Onu.org.mx,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-del-desarrollo-sostenible/>.

- [8] C. Gil Gómez, «Fuhem.es,» 2018. [En línea]. Available: https://www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/revista_papeles/140/ODS-revision-critica-C.Gomez.pdf.
- [9] Ciudades + B, «Citiescanb.org,» 2022. [En línea]. Available: <http://www.citiescanb.org/es#cities>.
- [10] ONU, «Un.org,» 2022. [En línea]. Available: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/11_Spanish_Why_it_Matters.pdf.
- [11] R. Hernández Sampieri, Metodología de la Investigación, México: Mc Graw Hill, 2014.
- [12] L. Maldonado y P. Verdugo, «Citiescanb.org,» 2021. [En línea]. Available: <http://www.citiescanb.org/es>.
- [13] D. George y P. Mallery, SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference, Boston: Allyn y Bacon, 2003.
- [14] Datamexico, «Datamexico.org,» 2021. [En línea]. Available: <https://datamexico.org/es/profile/geo/coatzacoalcos>.
- [15] I. Pedrosa, J. Juarros Basterretxea, A. Robles Fernández, J. Basteiro, García Cueto y Eduardo, «Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar?,» *Universitas Psychologica*, vol. 14, nº 1, pp. 245-254, 2015.
- [16] V. H. Soria Algañaraz, «Sedici.unlp.edu.ar,» 2016. [En línea]. Available: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/54585/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [17] G. A. González y J. E. Luna, «Rayo.xoc.uam.mx,» 2018. [En línea]. Available: <https://rayo.xoc.uam.mx/index.php/Rayo/article/view/305>.

Las prácticas empresariales y su relación con la dimensión ambiental del desarrollo sustentable en la pyme textil

S. Sarmiento-Paredes^{1*}, J. Carro-Suárez^{2*}, D. Nava¹

¹Facultad de Ciencias Económico-Administrativas, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Avenida Ribereña S/N Tlaxcala, México.

²Universidad Politécnica de Tlaxcala, Programa Educativo de Ingeniería, Avenida Universidad Politécnica No. 1 San Pedro Xalcatzingo Tepeyanco Tlaxcala, México.

*sarmientosusana@yahoo.com.mx

*jorge.carro@uptlax.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Actualmente la problemática medioambiental ha empeorado, situación que demanda a las empresas no limitar su operabilidad únicamente a la elaboración de bienes y servicios, sino también al cuidado del medio ambiente. Por ello, el objetivo fue determinar la relación entre las prácticas empresariales y la dimensión ambiental del desarrollo sustentable, tomando como objeto de estudio a la pyme textil del estado de Tlaxcala, México. El desarrollo metodológico consistió en aplicar las prácticas empresariales propuestas por Lorea: visión sustentable, prevención de contaminantes, cuidado del producto y tecnología limpia; y los criterios de los indicadores propuestos para México por el INEGI. Para tal fin, se hizo un diagnóstico para medir la percepción de las variables, realizando una correlación Pearson. Los resultados presentaron correlaciones estadísticamente significativas entre las variables objeto de estudio. Concluyendo que las empresas deben implementar en sus procesos estas prácticas empresariales ya que impactarán en el cuidado ambiental y en su competitividad.

Palabras clave: Prácticas empresariales, Dimensión ambiental, pymes

Abstract

Currently the environmental problem has worsened, a situation that requires companies not to limit their operations only to the production of goods and services, but also to care for the environment. Therefore, the objective was to determine the relationship between business practices and the environmental dimension of sustainable development, taking as an object of study the textile SME of the state of Tlaxcala, Mexico. The methodological development consisted in applying the business practices proposed by Lorea: sustainable vision, contaminant prevention, product care and clean technology; and the criteria of the indicators proposed for Mexico by the INEGI. To this end, a diagnosis was made to measure the perception of the variables, performing a Pearson correlation. The results presented statistically significant correlations between the variables under study. Concluding that companies must implement these business practices in their processes since they will impact environmental care and their competitiveness.

Key words: Business practices, Environmental dimension, SMEs

Introducción

La Conferencia Mundial de Naciones Unidas sobre el Medio Humano que se llevó a cabo en Estocolmo (Suecia) en 1972, fue el espacio donde a nivel internacional, por vez primera se expresaron preocupaciones sobre problemas en materia ambiental. Como resultado de este evento

mundial surgió la Declaración de Estocolmo, donde se establece que “Los dos aspectos del medio humano, el natural y el artificial, son esenciales para el bienestar del hombre y para el goce de los derechos humanos fundamentales, incluso el derecho a la vida misma”. Posteriormente, en la Conferencia Mundial de Naciones Unidas sobre Asentamientos Humanos en 1976 conocida como Hábitat (Vancouver, Canadá), se enunció la necesidad de mejorar la calidad de vida por medio de proveer de una vivienda adecuada y sustentable a los habitantes [1].

La Comisión Mundial de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo, en 1987 acogió el Informe Brundtland, mejor conocido como “Nuestro Futuro Común”, donde se estableció la definición sobre desarrollo sustentable, considerando de forma integral los problemas ambientales, sociales y económicos que enfrentaba la sociedad en esos momentos. Definiendo el desarrollo sustentable como “Aquel que satisface las necesidades esenciales de la generación presente sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades esenciales de las generaciones futuras”. Asimismo, en el artículo 3 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente se define al desarrollo sustentable como el “proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras” [2].

En 1992 en la conferencia de la Organización de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en Río de Janeiro Brasil conocida internacionalmente como la Cumbre de la Tierra, ratificaron el Informe Brundtland y aprobaron el Plan de Acción Mundial para el Desarrollo Sustentable denominado “Agenda 21”. Ésta surgió como respuesta a la invitación de Naciones Unidas para que las ciudades diseñaran planes para confrontar los retos socioambientales del siglo XXI. De esta manera, la Comisión de Desarrollo Sustentable propuso indicadores, con base en los criterios temáticos de los 40 capítulos de la Agenda 21, clasificándolos en las siguientes dimensiones: social, económica, ambiental e institucional. De acuerdo con el INEGI [1], los indicadores de desarrollo sustentable en México relacionados con el ambiente y orientados al sector empresarial, son los siguientes:

De la Categoría económica

- 1) Importación de bienes de capital. Se aplica para medir la transferencia de tecnología incorporada.
- 2) Inversión extranjera directa. Mide la tecnología que se transfiere a través de empresas extranjeras hacia un país receptor. Los países receptores deben tener un marco regulatorio e indicadores apropiados de monitores que posibiliten el ingreso de tecnologías ecológicas que protejan el medio ambiente, contaminen menos, que utilicen procesos y recursos naturales más eficientemente y que a su vez, reciclen los desechos.
- 3) Gasto en protección ambiental como proporción del PIB (Producto Interno Bruto). Su propósito es medir lo que hace un país para cuidar el medio ambiente.
- 4) Participación de bienes de capital ambientalmente limpios en la importación total de bienes de capital. Se puede utilizar para medir de forma más precisa el tránsito hacia una transferencia de tecnología limpia y sustentable.

De la Categoría ambiental

- 1) Emisión de gases efecto invernadero. Emisiones generadas por el ser humano que impactan directamente al calentamiento mundial.
- 2) Emisiones de óxidos de azufre. Indicador para calcular el desempeño ambiental de las políticas nacionales.
- 3) Emisiones de óxidos de nitrógeno. Mide el desempeño de las políticas nacionales en materia ambiental, y describe la presión ambiental con relación al abatimiento de las emisiones atmosféricas.
- 4) Uso de sustancias que agotan la capa de ozono. Cantidad de sustancias que dañan la capa de ozono y que están siendo eliminadas.
- 5) Generación de desechos sólidos industriales y municipales. Mide la producción de desechos sólidos generados por las actividades de los asentamientos humanos.
- 6) Generación de desechos peligrosos. Mide la cantidad de este tipo de desechos generados al año por las actividades industriales o por otras actividades.

- 7) Importación y exportación de desechos peligrosos. Mide el total de desechos peligrosos surgidos de movimientos transfronterizos.
- 8) Generación de desechos radiactivos. Se relaciona con Indicadores de tendencias y de tipo cualitativo, como el comportamiento en la reducción de desechos, capacidad de las instalaciones para la eliminación de desecho, entre otros.
- 9) Tratamiento de aguas residuales. Mide la recolección de aguas residuales de viviendas y locales comerciales, industriales o públicos, así como su traslado a un centro en el que reciben el tratamiento para su descarga al medio ambiente sin generar efectos colaterales.
- 10) Gasto sobre abatimiento de la contaminación atmosférica. Mide las inversiones y el gasto corriente aplicado para implementar acciones que permitan reducir la contaminación en los que incide el sector público y el sector empresarial.
- 11) Gasto en manejo de desechos. Gastos en que ha incurrido el sector público el sector privado para el tratamiento y manejo de desechos.
- 12) Reciclado y reutilización de desechos. Indicadores para medir la gestión sustentable de los desechos sólidos.
- 13) Eliminación de desechos municipales. Indicador para medir los desechos recolectados y eliminados por medios oficiales, puede ser por depósito en vertederos, incineración o por algún otro tipo de proceso.
- 14) Productos químicos prohibidos o restringidos. Mide los productos que, por salud y razones ambientales han sido prohibidos mediante acciones reguladoras gubernamentales.
- 15) Gasto en tratamiento de desechos peligrosos. Indicador que mide las acciones implementadas por el gobierno y por el sector privado para disminuir los desechos peligrosos que pueden afectar la salud de la sociedad y dañar el medio ambiente.

De la Categoría institucional

- 1) Científicos e ingenieros por millón de habitantes. Considera la proporción de los recursos humanos calificados que se tienen y que pueden colaborar en el desarrollo de actividades científicas y tecnológicas vinculadas con el desarrollo sustentable.
- 2) Líneas telefónicas principales por 100 habitantes. Este indicador mide el grado de desarrollo de las telecomunicaciones y que influyen en los niveles de bienestar de la población en un país.
- 3) Acceso a la información. Se fundamenta en que cuanto mayor es el número de periódicos en circulación en un país es más amplia la gama de información a la que la sociedad puede acceder. Y una sociedad informada estará más dispuesta a apoyar los objetivos enfocados al desarrollo sustentable.
- 4) Estrategias de desarrollo sustentable. Mide la efectividad y pertinencia de planes, programas, normatividad y estrategias para el desarrollo sustentable.
- 5) Programa de cuentas económicas y ecológicas integradas. La existencia de un programa estadístico orientado a desarrollar un Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas (SCEE), es un indicador que muestra el interés de una economía por considerar al medio ambiente en la toma de decisiones económicas y en el desarrollo de políticas en materia ambiental.
- 6) Evaluación por mandato legal del impacto ambiental. Mide las acciones que legalmente deben considerarse a nivel nacional para la evaluación del impacto ambiental.
- 7) Científicos e ingenieros empleados en investigación y desarrollo experimental por millón de habitantes. Considera los recursos humanos altamente calificados con los que cuenta el país.
- 8) Gasto en investigación y desarrollo experimental en proporción al PIB. Contribución de la investigación científica como un pilar para impulsar el conocimiento y el desarrollo de herramientas de medición y evaluación para identificar los problemas ambientales.
- 9) Ratificación de acuerdos globales. Mide el compromiso del país con los objetivos establecidos y alineados a los acuerdos mundiales en materia de desarrollo sustentable.
- 10) Instrumentación de los acuerdos globales ratificados. Marco legal para la implementación nacional de los acuerdos internacionales en materia de desarrollo sustentable.
- 11) Programa nacional de estadísticas ambientales. Mide la implementación de este tipo de programas, lo cual permite la publicación continua de informes sobre el ambiente.
- 12) Representación en consejos nacionales para el desarrollo sustentable. Mide la integración de grupos que promueven el desarrollo sustentable, se incluyen organizaciones no gubernamentales, comunidad científica, sector empresarial, el sistema educativo, entre otros.

13) Relación de las organizaciones no gubernamentales con el desarrollo sustentable. Evalúa el número de organizaciones no gubernamentales que promueven estrategias ambientales.

La importancia de los indicadores de desarrollo sustentable independientemente de la dimensión es básicamente reguladora en las diferentes actividades desarrolladas por los sectores público, privado y social. La problemática medioambiental se ha complicado, situación que demanda transformar la forma en la que se elaboran los productos [3]. En este sentido, Polanco [4] plantea la necesidad de que este sector empresarial armonice sus fines económicos con elementos medioambientales como muestra de su responsabilidad en su actuar hacia la sociedad y el entorno natural. Cabe destacar, que la Organización Internacional del Trabajo [5] como una estrategia para que los sistemas de producción de las empresas sean más respetuosos con el medio ambiente, está impulsando el desarrollo de empleos verdes, los cuales, tienen como propósito, reducir el consumo de energía y materias primas, limitar las emisiones de gases de efecto invernadero, minimizar los residuos y la contaminación, proteger y restaurar los ecosistemas y permitir a las empresas y a las comunidades adaptarse al cambio climático. Ante esto, se han desarrollado diversas investigaciones en las cuales se resalta la necesidad de promover en la industria, como parte de una nueva cultura organizacional, nuevas prácticas de gestión empresarial, en las cuales se establecen una serie de medidas con la finalidad de reducir el impacto ambiental de la producción, evitar la pérdida de materia prima, reducir la cantidad de residuos, ahorrar energía, mejorar los procesos productivos, mejorar la organización de la producción, elevar la seguridad en el trabajo e incrementar la productividad [6]. De tal forma, que promover una cultura que favorezca el desarrollo sustentable implica necesariamente modificar las formas actuales del consumo de los recursos naturales por parte de la sociedad [7]. “El desarrollo sustentable no implica estar en contra del capital; lo que persigue es la aplicación de nuevas tecnologías y prácticas productivas que, al integrarse con la transformación sociopolítica, pueda expresarse en equidad social” [8]. Con base en lo anterior, para efectos de esta investigación se analizaron como factores de la variable desarrollo sustentable: La generación de contaminantes, presupuesto para controlar y/o prevenir la contaminación, y destino de residuos industriales generados.

Para las organizaciones en general, transitar hacia la sustentabilidad les representa un desafío. Sin embargo, es una acción que invariablemente deben aplicar; por ello Lorea [9], sugiere que implementen en su proceso de gestión las siguientes prácticas empresariales:

- 1) **Visión sustentable.** Las siguientes etapas pueden promover una cultura sustentable en el ámbito empresarial. No obstante, si no se tiene un plan formal y sistémico, donde se considere como un eje prioritario, mermará paulatinamente su impacto.
- 2) **Prevención de contaminantes.** Las empresas deben implementar estrategias que les permitan prevenir los contaminantes y no solo controlarlos.
- 3) **Cuidado del producto.** Las empresas como parte del ciclo completo del producto, deben considerar acciones donde se considere desde la gestación del producto hasta después de su vida útil.
- 4) **Tecnología limpia.** Las empresas deben planear e invertir en tecnologías emergentes que les permita un desarrollo sin afectar el medio ambiente.

Además de una situación ética, un marco regulatorio restrictivo, los cambios en los patrones de consumo, el desarrollo de innovación tecnológica y la crisis ambiental entre otros, son aspectos determinantes que deben considerarse en la toma de decisiones empresariales. Los directivos de las pequeñas y medianas empresas textiles deben generar cambios en su gestión para que aprovechen las oportunidades que brinda un contexto enmarcado por la sustentabilidad, lo cual debe estar respaldado por decisiones financieras sólidas [11].

Con base en lo anterior, en la presente investigación se estableció como objetivo de investigación determinar la relación entre las prácticas empresariales y la dimensión ambiental del desarrollo sustentable, tomando como objeto de estudio a la pyme textil del estado de Tlaxcala, México.

Metodología

Diseño de Investigación

Se realizó una investigación no experimental y transversal de tipo mixto, se recolectaron y analizaron datos cuantitativos y cualitativos para un mejor entendimiento de las variables estudiadas [12], el enfoque del estudio, principalmente, fue cuantitativo.

Instrumento de evaluación y objeto de estudio

De la variable prácticas empresariales, se analizaron como dimensiones las prácticas empresariales principalmente propuestas por Lorea [9, 10]: visión sustentable, prevención de contaminantes, cuidado del producto y tecnología limpia. Y de la variable dimensión ambiental del desarrollo sustentable, con base en los criterios de los indicadores propuestos para México por el INEGI [1]: Generación de contaminantes, presupuesto para controlar y/o prevenir la contaminación, y destino de residuos industriales generados. Para tal fin, se diseñó un instrumento de 18 reactivos para medir la percepción de las empresas sobre las variables de investigación. La medición de cada ítem se realizó aplicando una escala de medida métrica por intervalos por medio del método de escalamiento Likert, considerando cinco categorías de respuesta con unidades métricas del 1 al 5, en donde el 1 se especificó como siempre, 2 la mayoría de veces, 3 regularmente, 4 pocas veces y 5 no es necesario. La validación del instrumento se realizó por juicio de expertos y se aplicó a directivos y/o dueños de pymes textiles. La población se conformó por N = 55 pymes. Para la confiabilidad del instrumento, ésta se calculó empleando el índice de Alfa de Cronbach de acuerdo con el criterio de Hernández- Sampieri y Mendoza [12].

Análisis e interpretación de datos

Con los datos recabados por el instrumento de percepción se realizó un análisis de correlación Pearson para identificar la relación existente entre los factores de las prácticas empresariales y la dimensión ambiental del desarrollo sustentable con base en el criterio de De Muth [13]. El análisis estadístico se realizó empleando el software SPSS 21®.

Resultados y discusión

Confiabilidad del instrumento de medición

Se entrevistó al 55% (30) de las pymes. Se aplicó a directivos y/o dueños de las pymes. Su confiabilidad fue de 0.955 con base en el Alfa de Cronbach, obteniendo una confiabilidad alta [12].

Análisis de correlación Pearson

Respecto a la relación que existe entre la Dimensión Ambiental del Desarrollo Sustentable con los factores de la dimensión Prevención de Contaminantes: Inversión en actividades de I+D, desarrollo de actividades para el cuidado ambiental e impacto al ambiente del desarrollo empresarial; se observó que el factor que más relación tiene es inversión en actividades de I+D (0.931), donde los empresarios consideran necesario integrar estas actividades en su gestión en Pro de impulsar la dimensión ambiental del desarrollo sustentable como una ventaja competitiva para la empresa; y los factores desarrollo de actividades para el cuidado ambiental (0.855) e impacto al ambiente del desarrollo empresarial (0.899) son las que muestran menos relación, ya que las condiciones de su infraestructura y la cultura para implementar de manera conjunta realmente acciones que promuevan un desarrollo sustentable en materia ambiental en este sector es limitada (Tabla 1), siendo determinante considerarlos en su proceso de gestión.

Tabla 1. Correlación de la Dimensión Ambiental del Desarrollo Sustentable con los factores de la dimensión Prevención de Contaminantes.

VARIABLE	PRUEBA ESTADÍSTICA	Prevención de contaminantes	Inversión en actividades de I+D	Desarrollo de actividades para el cuidado ambiental	Impacto al ambiente del desarrollo empresarial
Dimensión Ambiental del DS	Correlación de Pearson	1	.931**	.855**	.899**
	Sig. (bilateral)		.000	.000	.000
Inversión en actividades de i+d	Correlación de Pearson	.931**	1	.647**	.867**
	Sig. (bilateral)	.000		.000	.000
Desarrollo de actividades para el cuidado ambiental	Correlación de Pearson	.855**	.647**	1	.596**
	Sig. (bilateral)	.000	.000		.001
Impacto al ambiente del desarrollo empresarial	Correlación de Pearson	.899**	.867**	.596**	1
	Sig. (bilateral)	.000	.000	.001	

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).
 DS: Desarrollo Sustentable.
 Fuente: Elaboración propia.

Referente a la relación entre la Dimensión Ambiental del Desarrollo Sustentable con los factores de la dimensión Cuidado del Producto: Desarrollo de actividades de investigación y desarrollo, y relación de los productos con el medio ambiente; el factor que presentó más relación con la dimensión ambiental del DS fue desarrollo de actividades de investigación y desarrollo (0.852), donde los empresarios consideraron importante generar las condiciones para que por medio de actividades de I+D se implementen acciones con un enfoque ecocéntrico durante el proceso de planeación y elaboración del producto; y el factor relación de los productos con el ambiente también mostró una relación estadísticamente significativa (0.805). Sin embargo, expresaron que las condiciones actuales en instalaciones, maquinaria, procesos y competencias laborales no les permite implementar acciones con un enfoque ecoamigable. No obstante, ante la crisis ambiental mundial, a estos factores los consideran pertinentes (véase tabla 2).

Tabla 2. Correlación de la Dimensión Ambiental del Desarrollo Sustentable con los factores de la dimensión Cuidado del Producto

VARIABLE	PRUEBA ESTADÍSTICA	Cuidado del producto	Desarrollo de actividades de investigación y desarrollo	Relación de los productos con el ambiente
Dimensión ambiental del DS	Correlación de Pearson	1	.852**	.805**
	Sig. (bilateral)		.000	.000
Desarrollo de actividades de investigación y desarrollo	Correlación de Pearson	.852**	1	.376*
	Sig. (bilateral)	.000		.040
Relación de los productos con el ambiente	Correlación de Pearson	.805**	.376*	1
	Sig. (bilateral)	.000	.040	

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

DS: Desarrollo Sustentable.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la relación que existe entre la Dimensión Ambiental del Desarrollo Sustentable con los factores de la dimensión Tecnología Limpia: Condiciones de la maquinaria y el equipo, cambios y/o mejoras en la maquinaria, y relación de la tecnología con el ambiente; se observó que los factores cambios y/o mejoras en la maquinaria (0.92) y relación de la tecnología con el ambiente (0.890) presentaron correlaciones altas, destacando que los empresarios consideran importante se les apoye con programas de financiamiento para que puedan acceder a maquinaria y equipo actualizado, ya que esto impactaría en ser amigables con el ambiente. El factor condiciones de la maquinaria y el equipo presentaron una correlación baja, ya que las condiciones actuales de su infraestructura las limita para ser ambientalmente sustentables (véase tabla 3).

Tabla 3. Correlación de la Dimensión Ambiental del Desarrollo Sustentable con los factores de la dimensión Tecnología Limpia

VARIABLE	PRUEBA ESTADÍSTICA	Tecnología limpia	Condiciones de la maquinaria y el equipo	Cambios y/o mejoras en la maquinaria	Relación de la tecnología con el ambiente
Dimensión ambiental del DS	Correlación de Pearson	1	.660**	.920**	.890**
	Sig. (bilateral)		.000	.000	.000
Condiciones de la maquinaria y el equipo	Correlación de Pearson	.660**	1	.467**	.330
	Sig. (bilateral)	.000		.009	.075
Cambios y/o mejoras en la maquinaria	Correlación de Pearson	.920**	.467**	1	.780**
	Sig. (bilateral)	.000	.009		.000
Relación de la tecnología con el ambiente	Correlación de Pearson	.890**	.330	.780**	1
	Sig. (bilateral)	.000	.075	.000	

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

DS: Desarrollo Sustentable.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la relación que existe entre la dimensión ambiental del desarrollo sustentable con los factores de la dimensión visión sustentable: Políticas empresariales, planeación estratégica y normatividad aplicada; se observa que el factor planeación estratégica presentó la correlación más alta (0.863), donde los empresarios consideran necesario articular de manera anticipada y formal acciones en todos sus procesos que les permitan mantener una relación armónica con el medio ambiente. En los factores normatividad aplicada (0.811) y políticas empresariales (0.781) consideran que la normatividad en esta materia no es muy clara, por lo que sugirieron se les pueda orientar/capacitar para su implementación (véase tabla 4).

Tabla 4. Correlación de la Dimensión Ambiental del Desarrollo Sustentable con los factores de la dimensión Visión Sustentable.

VARIABLE	PRUEBA ESTADÍSTICA	Visión sustentable	Políticas empresariales	Planeación estratégica	Normatividad aplicada
Dimensión ambiental del DS	Correlación de Pearson	1	.781**	.863**	.811**
	Sig. (bilateral)		.000	.000	.000
Políticas empresariales	Correlación de Pearson	.781**	1	.547**	.495**
	Sig. (bilateral)	.000		.002	.005
Planeación estratégica	Correlación de Pearson	.863**	.547**	1	.493**
	Sig. (bilateral)	.000	.002		.006
Normatividad aplicada	Correlación de Pearson	.811**	.495**	.493**	1
	Sig. (bilateral)	.000	.005	.006	

**La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

DS: Desarrollo Sustentable.

Fuente: Elaboración propia.

Trabajo a futuro

Considerando la problemática ambiental se considera pertinente aplicar estas variables de investigación en otros sectores productivos, como el cerámico y el automotriz, y comparar los resultados. Lo cual puede ser base para vincular estas prácticas empresariales con otros enfoques administrativos como la economía circular y la industria 5.0.

Conclusiones

Esta investigación permitió cumplir con el objetivo de demostrar que las prácticas: visión sustentable, prevención de contaminantes, cuidado del producto y tecnología limpia deben formar parte de la gestión en las pymes, porque presentaron una relación significativa para promover la dimensión ambiental del desarrollo sustentable en la pyme textil. Ante la necesidad de promover un desarrollo sustentable en la filosofía organizacional de las pequeñas y medianas empresas textiles, es importante que se difundan entre los responsables de la toma de decisiones los factores analizados, para que tomen conciencia sobre la importancia de considerarlos en sus procesos internos.

Referencias

- [1] Instituto Nacional Estadística y Geografía (INEGI). "Indicadores de desarrollo sustentable en México". México, INEGI, 2002.
- [2] Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. "Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente". Estados Unidos Mexicanos. Recuperado desde: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf> 2022
- [3] J. Somovía, "Programa empleos verdes de la OIT. La transformación hacia una economía sostenible con bajo consumo de carbono". Organización Internacional del Trabajo [OIT]. Recuperado desde: http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---integration/documents/publication/wcms_107817.pdf 2009.
- [4] Y. Polanco. ¿Contribuyen las prácticas empresariales responsables a la reducción de la pobreza? *Contabilidad y Negocios*. 8(15). p. 43-56. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281628809005> 2013.

- [5] Organización Internacional del Trabajo (OIT). “Los empleos verdes se vuelven realidad. Progreso y perspectivas 2013”. Recuperado desde: http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/documents/publication/wcms_318069.pdf 2013.
- [6] P. Eimer, J. Miller y E. Kürzinger. “Guía de buenas prácticas de gestión empresarial para pequeñas y medianas empresas. Programa piloto para la promoción de la gestión ambiental en el sector privado en países en vías de desarrollo”. Agencia Alemana para la Cooperación técnica. Recuperado desde: https://www.academia.edu/19193142/2003_GTZ_GAR_Guia_Buenas_Practicas_Empresariales_2002
- [7] J. Carabias. “Ecología y medio ambiente en el siglo XXI”. Primera edición, México, Pearson, Prentice Hall. 2009.
- [8] F. Araque y J. Silva. “Modelo de gestión tecnológica bajo un enfoque de desarrollo sustentable. Caso: San Rafael del Tigre, municipio Baralt. Revista venezolana de ciencias sociales”. [En Línea] Enero – Junio, Volumen 10, número 001. Cabimas, Venezuela: Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt. ISSN (Versión impresa): 13164090. Recuperado desde: <https://www.redalyc.org/pdf/309/30910113.pdf> 2006.
- [9] A. Lorea. “Transición empresarial hacia la sustentabilidad y la medición del desempeño ambiental”. En Revista *Contaduría Pública*. México: Instituto Mexicano de Contadores Públicos, Número 430, Junio. 2008.
- [10] Sarmiento, S., Nava, V., Carro, J., & Hernández, C. (2018). Comparative study of innovation factors in the small and medium-sized textile manufacturing enterprise. En Revista *Contaduría y Administración*, 63(3). Recuperado desde: doi: <http://dx.doi.org/10.22201/fca.24488410e.2018.1268>
- [11] J. Ospino. “Gestión sustentable. Creando valor en el nuevo entorno global”. En Revista *Contaduría Pública*. México: Instituto Mexicano de Contadores Públicos, Número 430, Junio, 2008.
- [12] R. Hernández-Sampieri and C. P. Mendoza, “Metodología de la Investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta,” Ciudad de México: McGraw-Hill, 2018.
- [13] J.-E. De Muth, “*Basic Statistics and pharmaceutical statically applications*,” New York: CRC Press, 2014.

PLANEACIÓN ESTRATÉGICA Y GESTIÓN ADMINISTRATIVA PARA IMPULSAR EL DESARROLLO EN MICROS Y PEQUEÑAS EMPRESAS COMERCIALES.

I. S. Zavaleta Arellanes^{1*}, Y. Juárez Rivera¹, O. Rueda Serrano² E. Flores Gómez¹,
¹Carrera de Contador Público, Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Carretera Tenango, Santiago - La Marquesa 22, Santiago Tilapa, C.P. 52650, Edo. de México., México.
²Carrera de Contador Público, Universidad de Santander Colombia, Calle 70-210 Bucaramanga, Santander, Colombia.
*irbin.zavaleta@test.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

El proyecto aborda el análisis de la planeación estratégica y la gestión administrativa en las micro y pequeñas empresas del sector comercial ubicadas en la localidad de Coatepec de las Bateas, municipio de Tianguistenco, Estado de México que permita desarrollar en una segunda etapa, un modelo de capacitación. Para este trabajo fue necesario aplicar un cuestionario a cada negocio para así conocer las áreas con mayor problemática las cuales son ventas, administración, finanzas, operaciones y recursos humanos, para esto se hace uso de la metodología pime-jica en la cual se establece que deben ser evaluadas las áreas mencionadas. Una vez obtenidos los datos, se generó una base de datos para su manejo, y posteriormente se utilizó el programa IBM® SPSS Statistics. El resultado es que la planeación estratégica es independiente a la gestión administrativa en las micro y pequeñas empresas comerciales de la localidad de Coatepec de las Bateas, México. Lo anterior se traduce en que las micro y pequeñas empresas comerciales requieren fortalecer la planeación estratégica y gestión administrativa a través de diversas estrategias abordadas a lo largo del documento.

Palabras clave: Situación económica, Pymes, planeación, gestión, estrategias.

Abstract

The project addresses the analysis of strategic planning and administrative management in micro and small businesses in the commercial sector located in the town of Coatepec de las Bateas, municipality of Tianguistenco, State of Mexico, in order to develop, in a second stage, a training model. For this work it was necessary to apply a questionnaire to each business in order to know the most problematic areas, which are sales, administration, finance, operations and human resources, using the pime-jica methodology in which it is established that the mentioned areas should be evaluated. Once the data was obtained, a database was generated for its management, and then the IBM® SPSS Statistics program was used. The result is that strategic planning is independent of administrative management in micro and small commercial enterprises in the town of Coatepec de las Bateas, Mexico. This means that micro and small commercial enterprises need to strengthen strategic planning and administrative management through various strategies discussed throughout the document.

Key words: Economic situation, SMEs, planning, management, strategies, strategies.

Introducción

El tema a abordar en la presente investigación es la planeación estratégica y gestión administrativa para establecer en primera instancia la relación entre estas variables dentro de las micro y pequeñas empresas comerciales de la localidad de Coatepec de las Bateas municipio de Tianguistenco, Estado de México. Lo anterior pretende dar a conocer a las micro y pequeñas empresas la importancia de la planeación estratégica y la gestión administrativa dentro de sus negocios. Existen diversas características del tema, las cuales son que en la localidad analizada hay diversos negocios enfocados al comercio los cuales no tienen un manejo ordenado y adecuado de sus distintas áreas de importancia como lo son, recursos humanos, administración, finanzas, ventas y sus operaciones. Algunas causas que ocasionaron interés por el tema son que hay deficiencias a la hora de contratar personal, no se conocen las fuentes de financiamiento en caso de riesgos o problemas financieros y que una empresa debe de estar bien estructurada.

En la actualidad no existe investigación alguna que se refiere a el presente tema, debido a que la localidad analizada es pequeña, sin embargo, es fuente importante de ingresos para las familias que la habitan y sobre todo, trabajan en este lugar. Debido a la pandemia los ingresos de cada micro y pequeña empresa descendieron, no obstante, por no conocer sobre los medios a los que podían recurrir en caso de falta de recursos financiero muchas de ellas estuvieron en aprietos para seguir existiendo. Los negocios de la región son comúnmente familiares y esto conlleva a que en muchas ocasiones no se respeten las reglas que se estipulan, como por ejemplo, la hora de ingreso, el cumplir con un horario de comida o simplemente con las reglas de vestimenta, entre otras.

Se aplicarán métodos importantes en el desarrollo de una investigación los cuales son indispensables, para ellos se hará uso del método deductivo dentro del cual se partirá de lo general a lo particular, dentro de este método se investigarán los conceptos más relevantes y sobre todo los indispensables para el desarrollo del presente. El método analítico se reflejará en la determinación de las problemáticas, así como en las posibles soluciones a cada una de ellas, además de la creación de la capacitación la cual necesita de mucho análisis para establecer los temas a abordar.

El último método a usar es el método exegético literal que se refiere a la aplicación de las leyes las cuales son muy importantes para la comprensión del tema y para sustentar los argumentos, se interpretará y aplicará la Ley para el Desarrollo de la Competitividad de la Micro, Pequeñas y Mediana Empresa. También se empleará el instrumento denominado cuestionario el cual consta de preguntas que van enfocadas a distintas áreas de las micro y pequeñas empresas como lo es el área de recursos humanos, finanzas, operaciones, administración y ventas, esto con la finalidad de encontrar y abordar problemas que pudieran causar deficiencias dentro de la empresa.

Es importante señalar que el objetivo general de la investigación es el determinar cómo se relaciona la planeación estratégica y gestión administrativa para impulsar el desarrollo en micro y pequeñas empresas comerciales de la localidad de Coatepec de las Bateas, municipio de Tianguistenco, Estado de México.

Los objetivos específicos son identificar teorías sobre la planeación estratégica y gestión administrativa, conocer el marco regulatorio, así como generar un censo de unidades económicas para identificar las áreas con problemáticas y determinar una solución, generar estrategias para impulsar el crecimiento y desarrollo de las micro y pequeñas empresas comerciales en la localidad.

Las problemáticas abordadas son que las micro y pequeñas empresas no conocen sobre la planeación estratégica y gestión administrativa y no tienen conocimiento sobre las fuentes de financiamiento a las que podrían acudir en caso de necesitarlo, también se desconocen las leyes y se pretende identificar las principales áreas con problemáticas en las micro y pequeñas empresas

Otras problemáticas de suma importancia son: no cuentan con estrategias que les permitan crecer y desarrollarse enfrentando a la competencia, la micro y pequeña empresa necesita una capacitación aplicada a una microempresa en las áreas de planeación estratégica y gestión administrativa, así como el desarrollo de su estructura organizacional, además de que se determinara cómo se relaciona la planeación estratégica y gestión administrativa para impulsar el desarrollo en micro y pequeñas empresas comerciales de la localidad de Coatepec de las Bateas, municipio de Tianguistenco, Estado de México.

Metodología

El enfoque de la investigación es cuantitativo y de tipo descriptivo, esto debido a que se utilizan instrumentos de enfoque cuantitativo para la revisión de la información de las empresas objeto de estudio por medio de una matriz de análisis de los componentes planeación estratégica, gestión administrativa, estados financieros, de las notas o revelaciones de las diferentes partidas de los informes financieros y de las políticas contables, así como también, los informes de gestión y cualquier otra información que aporte al desarrollo de esta investigación.

Para el desarrollo de ésta investigación convino utilizar el paradigma cuantitativo debido a que es secuencial y probatorio, por lo que no se pueden saltar pasos, sin embargo, puede haber flexibilidad en algunas fases. En este sentido, al establecer En este sentido, al analizar la planificación estratégica y gestión administrativa en las PyMEs es menester fijar mediciones numéricas y análisis estadístico en la recopilación de la información [1]

Herramientas

En primera instancia se aplicó el cuestionario aplicable para la investigación es el Pyme-JICA debido a que es un tipo de cuestionario enfocado a ayudar a los consultores para guiar y apoyar a las micro y pequeñas empresas, en las que se evalúan áreas que son indispensables en cada negocio, este cuestionario será aplicado en cada uno de los establecimientos comerciales de la región para así obtener datos reales de las principales áreas con problemáticas de dichas empresas. "JICA es un organismo de la Cooperación Técnica del Gobierno de Japón. La agencia de cooperación internacional de Japón es un organismo que fue desarrollado el 1 de octubre de 2003 con el objetivo de mejorar el desarrollo socioeconómico de países que están en vías de desarrollo, y fomentar la cooperación internacional" [2]

El instrumento utilizado consta de dos áreas, divididas es cinco temas principales en los cuales se formulan 12 preguntas: Dirección, Operaciones, Mercado y Ventas, Recursos Humanos y Finanzas. Para la creación de la modelación de datos se necesitó de la aplicación de Excel para el concentrado de los resultados. Por último, mediante SPSS Statistics se modeló el conjunto de datos, de esta manera se obtuvieron los datos finales que se muestran a continuación.

Al contar con el número exacto de la población a estudiar, se estableció que la formula a utilizar para determinar el tamaño de la muestra es la de las poblaciones finitas la cual se representa de la siguiente manera: [3]

La fórmula de la población finita es la siguiente:

$$n = \frac{N * Z_{\infty}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\infty}^2 * p * q}$$

Donde:

n= Tamaño de la muestra

N= Tamaño de la población o Universo

Z= Nivel de confianza

p= proporción de la población con la característica deseada (éxito)

q= proporción de la población sin la característica deseada (fracaso)

e= Nivel de error dispuesto a cometer.

n= ¿?
 N= 2,156
 Z= 95% (1.96)
 p= 5% (0.05)
 q= 1-p = 1-0.05 (0.95)
 e= 10

$$n = \frac{2156 * 1.96^2_{\infty} * 0.05 * 0.95}{0.1^2 * (2156 - 1) + 1.96^2_{\infty} * 0.05 * 0.95} = 92$$

Resultados y discusión

Concentrado de los resultados del instrumento aplicado

El primer paso para la modelación de datos fue concentrar en Excel los resultados obtenidos de las diferentes cuestionarios aplicados a las micro y pequeñas empresas de la localidad de Coatepec de las Bateas, municipio de Tianguistenco, Estado de México. En la Figura 1 se clasifican las variables Planeación estratégica y Gestión Administrativa, a su vez en las áreas mencionadas en el párrafo anterior.

No. Pregunta	VARIABLE 1: PLANEACIÓN ESTRATEGICA														VARIABLE 2: GESTIÓN ADMINISTRATIVA																										
	Dirección						Operaciones								Mercado y ventas					Recursos humanos						Finanzas															
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35						
1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	
2	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
3	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
5	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
6	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
7	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
8	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	
11	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0

Figura 1. Concentrado de datos del instrumento.

Una vez analizado lo anterior, los datos que se obtuvieron se redujeron a una tabla, misma que sirvió de base para generar cálculos en el programa SPSS Statistics. En la figura 2 se muestran los códigos de las variables V1 y V2 para Planeación estratégica y Gestión administrativa, respectivamente. Posteriormente D1, D2, D3, D4 y D5 para las áreas y los conteos finales, que serán agregados en el programa mencionado. [4]

En la figura 2 se resume que de los 92 negocios encuestados, en relación a la Variable 1(Planeación estratégica), 9 cuentan con misión y visión, 8 tiene objetivos establecidos (utilidades, ventas, productividad) y estrategias para conseguirlos, 11 tiene definidos puestos, responsabilidades y actividades del personal, 14 cuentan con una administración con experiencia en el sector y el tipo de negocio, 12 cuentan con un equipo de trabajo que abarca en especial el tema del desarrollo y/o la mejora, 12 micro y pequeñas empresas tienen un código de ética y conciencia ambiental y son socialmente responsable, 10 cuentan con una secuencia de las actividades para proporcionar el servicio está establecida, sistematizada y evaluada, 10 cuentan con toda la infraestructura necesaria para proporcionar los servicios, 13 de los negocios tienen manuales de operaciones, 13 han establecido tiempos estándar para la realización de los servicios, 13 establecen una coordinación entre las diferentes áreas y 12 tienen identificado el costo unitario del servicio.

Así mismo, de los 92 negocios encuestados, en relación a la Variable 2 (Gestión administrativa), se tiene que, 14 realizan dentro de la organización la recolección de información y la capacitación del

personal para llevar a cabo el mejoramiento en el desarrollo de productos y procesos, 19 identifica claramente la influencia del ambiente laboral, así como el ambiente exterior en la productividad, 19 conocen a su competencia, 17 tienen claramente establecidas políticas y estrategias de venta, 18 cuentan con la asignación de un precio de venta de los servicios adecuado, 16 mencionan que la calidad, el servicio y las entregas de los productos en tiempo son los adecuados, 19 tienen claramente clasificado al mercado de los clientes a los que ofrece sus productos o servicios, 19 tienen identificadas con precisión la necesidad y la expectativa de los clientes, 19 cuentan con canales de distribución efectivos, 15 cuentan con mecanismos para escuchar y atender quejas y sugerencias de los clientes, 18 empresas llevan contabilidad y 16 identifican claramente las cifras de ventas y utilidades por producto.

V1	V2	D1	D2	D3	D4	D5
9	14	4	5	6	5	3
8	19	3	5	7	7	5
11	19	5	6	8	7	4
14	17	6	8	7	5	5
12	18	4	8	6	7	5
12	16	6	6	6	6	4
10	19	4	6	7	7	5
10	19	5	5	7	7	5
13	19	6	7	8	6	5
13	15	6	7	6	5	4
13	18	6	7	6	7	5
12	16	6	6	7	5	4

Figura 2. Concentrado final.

Formulación y resultados de hipótesis

La planeación estratégica se relaciona significativamente con la gestión administrativa en las micro y pequeñas empresas comerciales de la localidad de Coatepec de las Bateas municipio de Tianguistenco, Estado de México en el año 2021. [5]

H1: La planeación estratégica es dependiente con la gestión administrativa en las micro y pequeñas empresas comerciales de la localidad de Coatepec de las Bateas municipio de Tianguistenco, Estado de México en el año 2021.

H0: La planeación estratégica es independiente a la gestión administrativa en las micro y pequeñas empresas comerciales de la localidad de Coatepec de las Bateas municipio de Tianguistenco, Estado de México en el año 2021.

Modelación de datos en SPSS Statistics

Una vez que se simplificaron los datos, se procedió a agregarlos en el programa correspondiente, delimitando las variables y las áreas correspondientes para determinar el nivel de significancia. En la tabla 1 se muestra la tabulación cruzada, misma que sirvió para el desarrollo de las tablas subsecuentes.

Tabla 1 Planeación estratégica*Gestión administrativa tabulación cruzada

			Gestión administrativa						Total
			14	15	16	17	18	19	
Planeación estratégica	8	Recuento	0	0	0	0	0	1	1
		Recuento esperado	.1	.1	.2	.1	.2	.4	1.0
		% del total	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	8.3%	8.3%
	9	Recuento	1	0	0	0	0	0	1
		Recuento esperado	.1	.1	.2	.1	.2	.4	1.0
		% del total	8.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	8.3%
	10	Recuento	0	0	0	0	0	2	2
		Recuento esperado	.2	.2	.3	.2	.3	.8	2.0
		% del total	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	16.7%	16.7%
	11	Recuento	0	0	0	0	0	1	1
		Recuento esperado	.1	.1	.2	.1	.2	.4	1.0
		% del total	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	8.3%	8.3%
	12	Recuento	0	0	2	0	1	0	3
		Recuento esperado	.3	.3	.5	.3	.5	1.3	3.0
		% del total	0.0%	0.0%	16.7%	0.0%	8.3%	0.0%	25.0%
	13	Recuento	0	1	0	0	1	1	3
		Recuento esperado	.3	.3	.5	.3	.5	1.3	3.0
		% del total	0.0%	8.3%	0.0%	0.0%	8.3%	8.3%	25.0%
	14	Recuento	0	0	0	1	0	0	1
		Recuento esperado	.1	.1	.2	.1	.2	.4	1.0
		% del total	0.0%	0.0%	0.0%	8.3%	0.0%	0.0%	8.3%
	Total	Recuento	1	1	2	1	2	5	12
		Recuento esperado	1.0	1.0	2.0	1.0	2.0	5.0	12.0
		% del total	8.3%	8.3%	16.7%	8.3%	16.7%	41.7%	100.0%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2 se puede concluir que, como el nivel de significancia es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, es decir a planeación estratégica es independiente a la gestión administrativa en las micro y pequeñas empresas comerciales de la localidad de Coatepec de las Bateas municipio de Tianguistenco, Estado de México en el año 2021

Tabla 2 Prueba Chi-cuadrado

	Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)
Chi-cuadrado de Pearson	38.400 ^a	30	.140
Razón de verosimilitud	27.587	30	.592
Asociación lineal por lineal	.221	1	.639
N de casos válidos	12		

Fuente: Elaboración propia

a. 42 casillas (100.0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es .08.

Por otro lado, en la tabla 3 se puede concluir que como el coeficiente de contingencia es mayor a 0.05 se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, es decir a planeación estratégica es independiente a la gestión administrativa en las micro y pequeñas empresas comerciales de la localidad de Coatepec de las Bateas municipio de Tianguistenco, Estado de México en el año 2021, como tal no existe una relación fuerte entre estas dos variables analizadas.

Tabla 3 Medidas simétricas

Medidas simétricas

	Valor	Aprox. Sig.
Nominal por Nominal Coeficiente de contingencia	.873	.140
N de casos válidos	12	

Fuente: Elaboración propia

Lo anterior brinda un panorama muy completo de que en las micro y pequeñas empresas comerciales de la localidad de Coatepec de las Bateas municipio de Tianguistenco, Estado de México, hay una deficiencia en la planeación estratégica, específicamente en la Dirección y Operaciones; por otro lado, deficiencias en la gestión administrativa, concretamente en Mercado y Ventas, Recursos Humanos y Finanzas.

Derivado de lo anterior, en la tabla 4 se proponen las siguientes estrategias, misma que fueron resultados del instrumento Pyme-JICA:

Tabla 4 Estrategias empresariales

Variables		Estrategias	Medición y control	Plazo
PLANEACIÓN ESTRATÉGICA	Dirección	<ul style="list-style-type: none"> Determinar la misión y visión del negocio. Establecer objetivos (utilidades, ventas, productividad) y estrategias para conseguirlos. Definir puestos, responsabilidades y actividades del personal. Capacitar a la administración con el tipo de negocio. 		Corto plazo.
	Operaciones	<ul style="list-style-type: none"> Establecer secuencia de las actividades para proporcionar el servicio. Establecer un código de ética y conciencia ambiental, que les permitan ser socialmente responsable. Mejorar la infraestructura necesaria para proporcionar los servicios. 		Mediano plazo.
GESTIÓN	Mercado y Ventas	<ul style="list-style-type: none"> Conocer a su competencia. Ampliar sus canales de distribución. Mejorar la calidad, el servicio y las entregas de los productos en tiempo. Clasificar al mercado de los clientes. 		Corto plazo.

Recursos Humanos	<ul style="list-style-type: none">• Establecer mecanismos para atender quejas y sugerencias.• Contrata el recurso humano adecuado.• Contar con un programa de capacitación adecuado.• Evaluar adecuadamente el desempeño del personal.• Procedimientos de contratación y evaluación de colaboradores.• Establecer contratos y reglamentos acorde a las leyes vigentes.		Mediano plazo.
Finanzas	<ul style="list-style-type: none">• Realizar los registros contables acorde a las Normas de Información Financiera.• Analizar los flujos de caja.• Identificar las cifras de ventas y utilidades por producto.• Establecer presupuestos.• Revisar fuentes de financiamiento.		Mediano plazo.

Fuente: Elaboración propia.

Trabajo a futuro

Enfocar la investigación hacia los diferentes sectores productivos permitirá identificar necesidades específicas, ya que esta se realizó de manera general y dada la gran variedad de giros comerciales y de servicios éstas pueden o no ser de utilidad para algunas. Fomentar la cultura de la gestión administrativa y la planeación estratégica permitirá afrontar los retos como pandemias, inflación, etc. de las diferentes micro y pequeñas empresas de la región.

Se recomienda que la investigación presentada se continúe ya que es un tema muy extenso en donde cada negocio tiene necesidades distintas las cuales pueden ser tratadas de manera específica, además de que, ayudando a crecer a los micro, pequeños y medianos negocios no solo comerciales, también de servicios e industriales.

Se pueden implementar pláticas, así como programas de capacitación enfocadas a los ya mencionados con anterioridad, tratando temas relacionados con las finanzas, con lo administrativo y también con estrategias de ventas, ayudándoles a entrar en la formalidad, explicando beneficios de serlo, además de que también se podría implementar el que cuenten con una estructura organizacional.

Conclusiones

Se realizó un análisis estadístico en un software denominado “SPSS” para determinar la relación que existe entre la planeación estratégica y la gestión administrativa dentro de las cuales se puede concluir que son independientes, es decir que no existe una relación como tal entre estas dos variables y por lo tanto una no depende de la otra para poder existir, estos resultados son reflejados solo para los negocios de la localidad de Coatepec de las Bateas.

Para el desarrollo de lo anterior fue indispensable el aplicar un cuestionario a cada negocio de la región en donde se les cuestionaba de manera dicotómica, es decir en donde las respuestas únicamente correspondían a “sí” o “no”, doce son el número de preguntas formuladas en dicho instrumento.

Los resultados muestran elementos necesarios a considerar, aplicando las estrategias establecidas en la tabla 4, como parte del desarrollo de una planeación estratégica y gestión administrativa necesarios para los negocios comerciales en la localidad de Coatepec de las Bateas municipio de Tianguistenco, Estado de México, México, debido a que las variables establecidas en las Hipótesis fueron aceptadas.

Referencias

- [1] R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, Metodología de la investigación, México 6a Ed.: Mc-Graw Hill, 2014.
- [2] M. Díaz, R. Parra y L. López, Presupuestos Enfoque a la Planeacion Financiera, Bogotá Colombia: Pearson, 2012.
- [3] C. A. Fagilde, «Presupuesto Empresarial: Un enfoque práctico para el aula,» 18 09 2009. [En línea]. Available: <https://www.coursehero.com/file/25954948/1pdf/>. [Último acceso: 25 01 2021].
- [4] A. Chandler, Strategy and Structure. Chapters in the history of the American Industrial Enterprise, New York: Beard Books, 2016
- [5] M. Carneiro, Dirección Estratégica Innovadora, La Coruña, España: Netbiblo, 2018.

Modernización de gestión a servicios municipales por medio de soluciones web en la era post-Covid

J. Robles Calderón¹, M.A. Aguilar Cortés¹, A. Pérez López², G. Robles Calderón¹, M. Aguilar Cortés¹

¹División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II SN, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán Puebla., México

²División de Ingeniería en Informática, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II SN, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán Puebla., México

[*jacobo.rc@teziutlan.tecnm.mx.com](mailto:jacobo.rc@teziutlan.tecnm.mx.com)

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

El objetivo principal de este trabajo de investigación es presentar los resultados obtenidos al haber desarrollado e implementado una aplicación tecnológica basada en web y datos para el cobro de servicios de impuesto predial y agua potable dentro del H. Ayuntamiento de Teteles de Ávila Castillo Puebla. Esto para mejorar la calidad de los servicios de e-government que se ofrece a la ciudadanía de dicho municipio y de la misma manera como una estrategia para reducir la afluencia dentro de las instalaciones de la tesorería municipal atendiendo con ello las recomendaciones de distanciamiento social vigentes a partir de la contingencia sanitaria ocasionada por el surgimiento del SARV-Cov-2.

Palabras clave: e-government, servicios, TIC, Covid-19

Resumen

The main objective of this research work is to present the results obtained by having developed and implemented a technological application based on web and data for the collection of property tax and drinking water services within the H. Ayuntamiento de Teteles de Ávila Castillo Puebla. This is to improve the quality of the e-government services offered to the citizens of said municipality and in the same way as a strategy to reduce the influx within the municipal treasury facilities, thereby meeting the current social distancing recommendations. from the health contingency caused by the emergence of SARV-Cov-2.

Key words: e-government, services, TIC, Covid-19

Introducción

Hoy en día los países y sus gobiernos enfrentan retos muy importantes para el desarrollo de su economía, sociedad, relaciones internacionales, seguridad, generación de empleo, salud y bienestar para sus comunidades, pero sobre todo ante la crisis que dejó la pandemia ocasionada por el COVID-19 la cual afectó a toda la sociedad de manera significativa.

Por esta razón los diferentes niveles gubernamentales de cada país han buscado alternativas para mitigar el impacto ocasionado. La mayoría de las actividades humanas ha puesto de manifiesto la importancia que hoy en día tienen las tecnologías de información y comunicación como herramientas que permiten a gobiernos y empresas contrarrestar el distanciamiento social y el aislamiento. La

pandemia se ha convertido en un fenómeno global que afecta tanto a economías avanzadas como a emergentes en los ámbitos social, económico y de salud [1].

Debemos tener presente que en desarrollo de las actividades de las organizaciones la automatización de procesos administrativos es algo muy común pues permite construir información que es procesada para generar el conocimiento necesario que permite soportar la toma de decisiones y así desarrollar planes estratégicos que las beneficien sin importar que sean públicas o privadas.

El gobierno electrónico es un servicio público digital que presta el Estado a la ciudadanía y al sector empresarial con el propósito de mejorar los niveles de eficacia y eficiencia en el ejercicio gubernamental, renovando sus procesos y procedimientos con respecto a la calidad de los servicios públicos, facilitando la armonía y la coordinación entre las distintas instancias de gobierno. En esta etapa, el objetivo es reinventar los servicios ofrecidos por la administración pública, situando a la ciudadanía en el centro [2].

Con relación a los gobiernos electrónicos el grado de innovación en sistemas informáticos orientados a la prestación de servicios a nivel gubernamental ha repercutido en un aumento considerable de los recursos humanos, materiales y sobre todo tecnológicos que se invierten en su desarrollo derivado de los beneficios como servicios más rápidos y de mejor calidad que se obtienen a partir de ellos [3].

Se debe destacar que la perspectiva y el rol que desempeña actualmente la población ha cambiado rápidamente volviéndose más exigente pues solicita mejores servicios públicos y privados que aprovechen el uso de Internet el cual se ha extendido entre la población en general, cambiando con ello las expectativas de la ciudadanía. Ante esta realidad, los gobiernos han buscado desarrollar y utilizar servicios que les permitan hacer más eficientes los procesos de gestión, así como generar información que pueda ser integrada en diversos aspectos de la administración pública.

Este escenario demuestra que los ciudadanos se han vuelto más exigentes y sus expectativas se han incrementado, aspecto que presiona en el trabajo, de manera particular en el servicio público, a tratar de eliminar la burocratización del pasado y centrar la atención en responder a este nuevo esquema de exigencia de los ciudadanos, lo cual demanda una creación de valor agregado apoyado en el uso de TIC.

Ante la evolución en cuanto al uso de las TIC dentro de la administración pública se puede también fomentar la transparencia en la función pública y que se diversificaran los medios de comunicación y de contacto entre la ciudadanía y los diferentes niveles de servidores públicos. Estas expectativas pueden exigir cierto esfuerzo adicional para cubrirlas satisfactoriamente, desde elaboración de diversos informes hasta la búsqueda constante por elevar la calidad en el servicio prestado, factores por los cuales se generan ciertas resistencias al cambio y al uso de estas tecnologías. La importancia de la administración se ve, en que esta imparte efectividad a los esfuerzos humanos, ayuda a obtener mejor personal, equipo, materiales, dinero y relaciones humanas [4]. Considerando lo antes mencionado se puede determinar que tiene un papel fundamental en la vida del Estado y por consecuencia en la vida de la sociedad, por tal motivo tiene que estar sujeta a las nuevas estrategias, mismas que establece el sistema contemporáneo. Una de las tantas estrategias, es la modernización de las tecnologías de la información y comunicación las cuales tienen un papel fundamental para el buen funcionamiento del Estado.

Por tanto, la principal hipótesis que sostiene este trabajo de investigación es verificar que el desarrollo y aplicación de las tecnologías de la información y comunicación dentro de la administración pública del H. Ayuntamiento de Teteles de Ávila Castillo Puebla ayudará a mejorar el desempeño y eficiencia de algunos servicios que se brindan a la ciudadanía durante tiempos de y post pandemia. Entre los problemas que requerían atención prioritaria se encuentran la digitalización de servicios administrativos para agilizar la gestión y control de datos relacionados con predios y tomas de agua potable, la documentación y propuesta de mejora de infraestructura interna de telecomunicaciones en el edificio del H. Ayuntamiento con el objetivo de garantizar la

interconectividad de usuarios, así como el desarrollo de un plan de servicio de mantenimiento preventivo para sistemas y equipos de cómputo que garantice su correcta operatividad en las diferentes áreas pertenecientes al gobierno de dicho municipio.

A través de la aplicación de TIC propuesta en este estudio, se buscó impulsar el desarrollo de los gobiernos electrónicos a nivel municipal para que exista un acercamiento real con los ciudadanos ya que, esto es algo que aun en tiempos previos a la pandemia ocasionada por el SARS-COV-2 ha resultado un desafío difícil de afrontar.

Metodología

Metodología de Investigación

Para el desarrollo del trabajo de investigación del que se deriva el presente artículo se realizó un estudio no experimental ya que se identificaron variables que se describieron en su estado actual, con un enfoque transversal descriptivo de las condiciones encontradas durante la implementación del proyecto. Si bien el presente estudio está orientado en gran medida a resolver un problema de índole administrativo basado en factores cuantitativos se busca desarrollar herramientas que proporcionen información que de soporte a la toma de decisiones motivo por el cual se utilizaran fuentes cualitativas y criterios propios en la resolución de problemas [5]. De igual manera es importante destacar que realizaron múltiples reuniones entre el personal del H. Ayuntamiento de Teteles de Ávila Castillo y docentes investigadores del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán lo que permitió conocer a detalle los procesos de cobro de impuesto predial y agua potable permitiendo un establecimiento preciso de los requerimientos que debía contener la aplicación tecnológica a desarrollar.

Desarrollo de la plataforma web de cobro de impuestos municipales

Dentro de los principales problemas que afronta actualmente el H. Ayuntamiento de Teteles de Ávila Castillo se encuentran el cobro del impuesto predial, así como del servicio de agua potable a los habitantes empadronados en dicha localidad. Actualmente y según datos del INEGI en su último censo de población y vivienda se registra una población total de 6653 habitantes en el municipio [6], de los cuales se dispone con un padrón de contribuyentes registrados de aproximadamente 2300 habitantes que cuentan con algún tipo de predio dentro del municipio o que disponen de alguna toma de agua. Como se muestra en tabla 1 hay una importante disminución de la participación tributaria de la ciudadana del año 2020 al 2021, ocasionado en gran medida por la pandemia derivada del COVID-19.

Tabla 1. Porcentaje de recaudación de impuestos 2019-2021

Concepto	2019	2020	2021
Porcentaje de ciudadanos con pagos al corriente	20%	24%	18%
Porcentaje de ciudadanos con retraso en pagos	57%	48%	39%
Porcentaje de sin pagos registrados	23%	28%	43%

Dicho déficit se debe principalmente al impacto económico que se ha generado por la contingencia sanitaria pero también se pudieron destacar aspectos significativos como la aplicación de normas de distanciamiento social, así como la inseguridad que tienen los ciudadanos de asistir a lugares públicos como las oficinas de los ayuntamientos a realizar el pago de sus contribuciones. Hay que considerar que la baja recaudación de impuestos imposibilita a las autoridades municipales el desarrollo de programas y obras públicas y sociales que beneficien a la población en general.

Ante lo mencionado con anterioridad surgió la necesidad de desarrollar un proyecto que se encontrara dividido en fases que involucraran de manera directa el uso de la Tecnologías de Información y Comunicación; a fin de mejorar la forma en la que el gobierno municipal de Teteles ofrece servicios a la ciudadanía y lograr construir un camino hacia la alfabetización tecnológica por un gobierno electrónico adecuado a partir de la modernización de algunos de los servicios públicos

municipales [7]. La plataforma web para el cobro de impuestos municipales por conceptos de predial y agua potable permite al personal de tesorería del municipio de Teteles de Ávila Castillo tener un padrón digital actualizado de los contribuyentes de dicho municipio, de igual manera recaba información geográfica asociada al tamaño y ubicación de predios y tomas de agua lo que permite poder construir un banco de datos que da soporte a la toma de decisiones en relación a las diversas políticas y estrategias que debe llevar a cabo el gobierno municipal para incentivar la recaudación entre los habitantes. Así mismo dicha aplicación permite realizar la programación de citas para que los ciudadanos asistan a las oficinas de tesorería en fechas y horas específicas agilizando el proceso y evitando la concentración de personas dentro de las áreas designadas para el cobro de impuestos. Cabe mencionar que al desarrollar este proyecto se buscó un balance entre la parte metodológica y la técnica, proporcionando una cantidad de información suficiente para que sea claro lo que se hizo y para describir los resultados obtenidos.

Metodología técnica

Para el desarrollo de la plataforma web para pago de impuestos municipales (SGCSM) en el municipio de Teteles de Ávila Castillo Puebla, la cual es resultado del presente estudio se consideraron en primera instancia las diferentes fases de madurez del ciclo de vida del gobierno electrónico: presencia, información urbana, interacción y transacción, posteriormente se realizó un análisis de los procesos administrativos que se realizan dentro de dicha administración, estableciéndose un plan de desarrollo basado en la metodología OOHDM (Método de Diseño de Hipermedia Orientado a Objetos) debido que presenta un alto grado de afinidad y claridad en el desarrollo de aplicaciones web [8]. En la tabla 2 se describen las actividades desarrolladas en cada etapa de la metodología:

Tabla 2. Actividades realizadas en base a la metodología OOHDM

Fase	Descripción
Obtención de requerimientos	Se analizaron los procesos de manera general para visualizar el alcance del sistema. Se estableció la problemática, así como los requerimientos e instrumentos de recolección de información. Planificación de las actividades a desarrollar.
Modelo Conceptual	Se desarrollaron diagramas UML de casos de uso, diagramas de clase, diagramas de secuencia y colaboración, diagramas de estado y diagramas de arquitectura general del sistema.
Diseño Navegacional	Se establecieron las diferentes rutas que pueden seguir los usuarios del sistema basados en los perfiles que poseen.
Diseño de interfaz abstracta	Se definieron las interfaces de la aplicación a través de un proceso de maquetado. Dichas interfaces permiten a los usuarios del sistema la interacción con los diferentes módulos que la conforman.
Implementación	Se instaló la aplicación dentro del servidor web del municipio de Teteles de Ávila Castillo. Para la implementación de utilizó el sistema operativo Windows Server 2016 Data Center Edition, IIS 10 y SQL Server 2016 Developer.

Descripción de la aplicación de cobro de impuestos municipales

La aplicación web desarrollada para el cobro de impuesto predial y agua potable se desarrolló haciendo uso de tecnologías Microsoft y actualmente se encuentra administrado por personal técnico y operativo perteneciente al H. Ayuntamiento de Teteles de Ávila Castillo. En la tabla 3 se muestra a detalle la arquitectura implementada para el sistema de cobros.

Tabla 3. Descripción de la arquitectura para el sistema de cobro de impuestos municipales

Herramientas de desarrollo	Visual Studio Community 2019.
----------------------------	-------------------------------

	C# como lenguaje de programación. SQL Server 2016 Developer. MVC como patrón de diseño.
Arquitectura implementada	El sistema de cobro de impuesto predial y agua potable se desarrolló aplicando la arquitectura n-capas ya que permite la agrupación de funcionalidades en distintos que se colocaron verticalmente para poder separar las responsabilidades de cada componente de software.
Capa de datos	El origen de los datos de contribuyentes y pagos se encuentra alojado en una base de datos relacional ubicada en un servidor de base de datos SQL Server 2016 Developer.
Capa de acceso a datos	Se utilizó Entity Framework Core 3.0 como tecnología de acceso a datos.
Capa de lógica de negocio	Se realizó la definición e implementación de un modelo de entidades complejo para permitir la validación de todas las especificaciones establecidas dentro de la fase de requerimientos.
Capa de servicios	Se generó una capa de servicios basado en web API ya que en trabajos futuros se desea complementar esta plataforma de cobro con otro tipo de aplicaciones.
Capa de presentación	Para el desarrollo de las interfaces de usuario o cliente se utilizó HTML5, CSS3, Bootstrap 4, y jQuery

Como se describe en la tabla anterior para el desarrollo de la aplicación se llevó a cabo la implementación de Asp.NET MVC, dividido en capas y haciendo uso de Entity Framework, utilizando además JavaScript para mejorar el diseño y la interacción con el usuario aplicando la metodología de desarrollo de Software OOHDM tal y como se muestra en la figura 1.

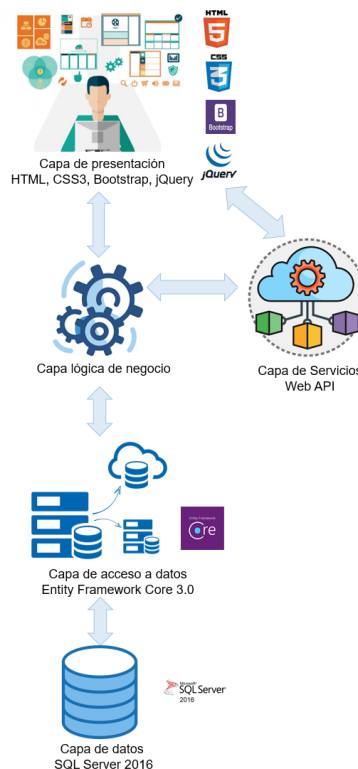


Figura 1. Arquitectura general del sistema de cobro de impuestos municipales

Resultados y discusión

Como resultados del presente trabajo de investigación se destaca el desarrollo una aplicación web que permite generar un banco actualizado de datos de contribuyentes que incluye datos geográficos de localización de predios y tomas de agua, un registro más confiable de los pagos realizados por parte de los contribuyentes, así como un mecanismo que permite a los ciudadanos realizar un programación de citas para acudir a las instalaciones del finanzas del municipio de Teteles de Ávila Castillo a realizar los pagos correspondientes.

Con relación a la estructura general del sistema de cobros está organizada en una serie de módulos actualizables que permiten al personal del ayuntamiento alimentar al sistema y hacerlo más flexible para pueda ser capaz de implementar diferentes consideraciones al momento de realizar el cálculo de montos a pagar por conceptos de impuesto ya que podrá aplicar diferentes tipos de criterios como descuentos por pronto pago, INAPAM, promociones entre otros como mecanismo de apoyo a la ciudadanía del municipio. Tal y como se muestra en la figura 2, se logró también el desarrollo de una interfaz responsiva que facilita la recolección de datos de contribuyentes, registro de pagos, etc., lo que permite la conformación de un banco de datos digital que podrá ser utilizado en la presente administración, así como en administraciones futuras y poder conservar con ello un registro histórico de los pagos o adeudos que presenta la ciudadanía.

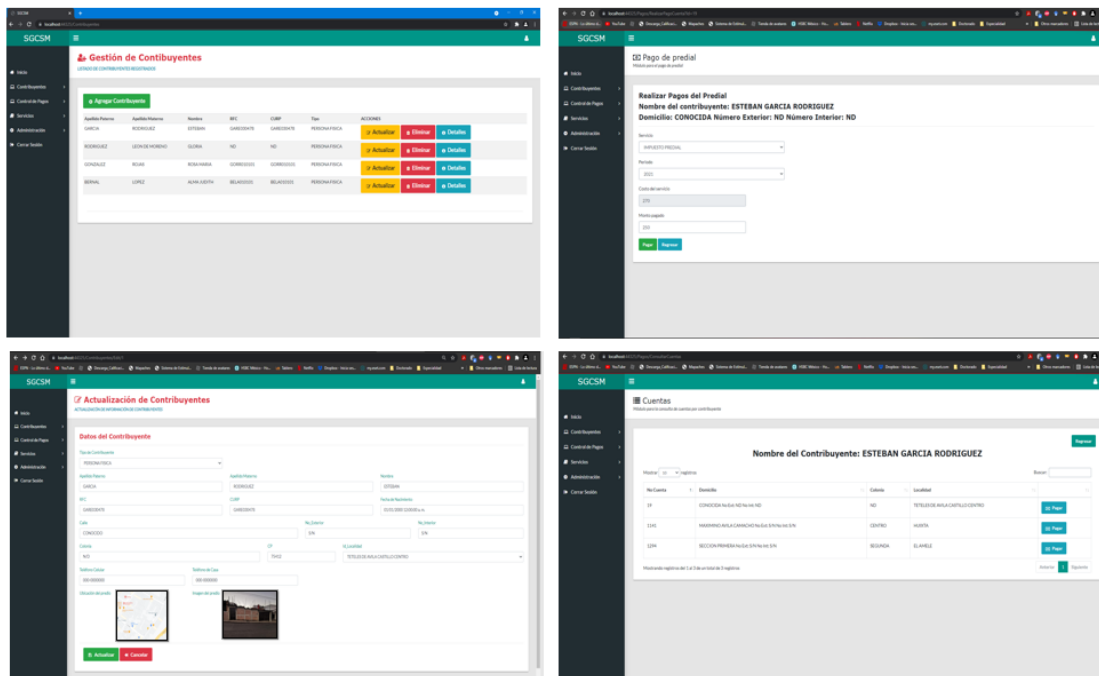


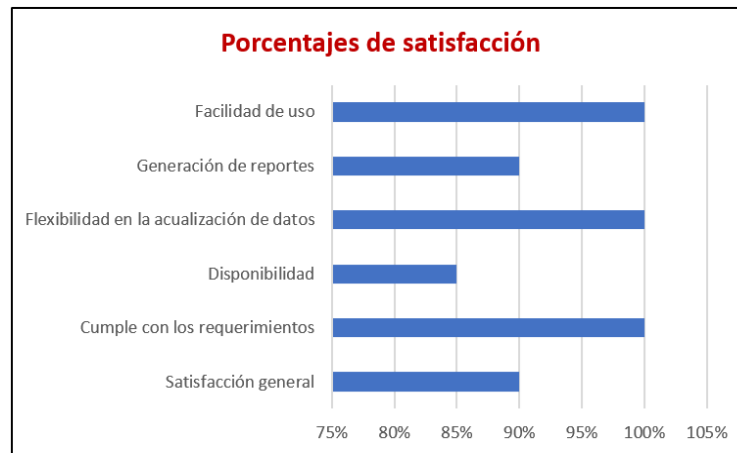
Figura 2. Pantallas del Sistema de cobro de impuestos municipales

Se observó que por parte de la ciudadanía que al existir un banco digital de datos que contiene un historial de pagos, así como a la posibilidad de que los contribuyentes que agendan su cita a través de la aplicación web requieren de un menor tiempo de atención al momento de realizar dicho pago tal y como se muestra en la gráfica 1. De igual manera se logró un menor tiempo de exposición de las personas en espacios públicos lo que derivado de la pandemia es un aspecto que el gobierno municipal de Teteles pone especial atención.



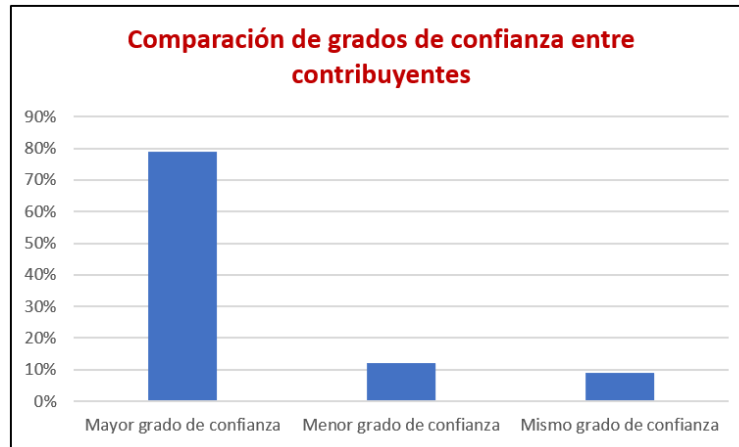
Gráfica 1. Tiempo requerido para la realización de pago de impuestos

Otro de los factores a considerar es el grado de satisfacción que tiene el personal del ayuntamiento de Teteles de Ávila Castillo al momento de interactuar con el sistema de cobro de impuestos. Para obtener esta información se aplicaron diferentes instrumentos que evaluaron la aceptación de los usuarios en función de 6 ejes básico que se describen en la gráfica 2.



Gráfica 2. Tiempo requerido para la realización de pago de impuestos

Como se muestra en la gráfica 3 se detecta un mayor grado de confianza por parte de la ciudadanía para asistir a realizar el pago de impuesto predial y servicio agua potable ya que no se encontrarán expuestos a un área concurrida pues se realizará a través de citas programadas y de igual manera el contar con un sistema informático el proceso de pago en ventanilla se realiza en una menor cantidad de tiempo. Para la conformación de dicha estadística se realizaron 483 encuestas rápidas a los ciudadanos que acudieron a realizar dicho trámite.



Gráfica 3. Grado de confianza de la ciudadanía para realizar pagos en tesorería

Trabajos a futuro

Como se puede apreciar a lo largo de este trabajo el ámbito de gobierno electrónico es un área que presenta muchas áreas de oportunidad. Con relación a la herramienta web desarrollada es necesario la integración del pago de impuestos predial y de agua potable totalmente en línea, destacando que al momento en el que se desarrolló la investigación aquí expuesta no existen aún una cultura digital por parte de todos los contribuyentes del municipio debido a que no todos los ciudadanos tienen libre acceso a las TIC. Para ello se propone al ayuntamiento municipal el desarrollo de campañas de alfabetización digital que involucren un mayor número de personas y puedan apreciar los múltiples beneficios que se pueden obtener a través del uso de tecnologías informáticas.

Del mismo modo en el mediano y largo plazo se deberán agregar nuevas funcionalidades al sistema de cobros para garantizar un correcto funcionamiento, así como la integración de dicha aplicación a otras fuentes de datos y aplicaciones y con ello poder explotar de una mejor manera todas las ventajas que nos ofrece actualmente el análisis de grandes volúmenes de datos [9].

Conclusiones

Diferentes sectores de la sociedad se han visto afectados negativamente a partir de la pandemia por COVID-19. Con relación a la recaudación presupuestal de los diferentes municipios se observa una baja en la participación tributaria debido a las dificultades económicas que enfrentan las familias por la contingencia sanitaria, así como a la falta de confianza que existe por parte de los ciudadanos de asistir a instalaciones donde puede existir una alta afluencia social. La importancia de aplicar las TIC para crear herramientas que ante estas circunstancias permitan que los individuos puedan en medida de lo posible realizar actividades cotidianas con un mayor grado de seguridad. Ante lo mencionado anteriormente el desarrollo de la aplicación para el cobro de impuestos municipales en el H. Ayuntamiento de Teteles de Ávila Castillo Puebla, colaboró para poder contribuir en la resolución de dichas problemáticas.

Por otro lado, la implementación de TIC en la consolidación de servicios digitales en los gobiernos electrónicos tiene un impacto cada vez más significativo ya que permite incrementar la calidad en los servicios que se ofrecen a la ciudadanía en general y sirven como una herramienta que puede contribuir de manera significativa en podemos denominar una alfabetización digital [10].

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán en colaboración del H. Ayuntamiento de Teteles de Ávila castillo Puebla tiene una perspectiva clara que la disminución en la brecha digital existente entre los ciudadanos se reducirá de manera considerable a medida que se desarrolle ciencia y tecnología que permitan una integración efectiva e incluyente hacia todos los sectores de la sociedad.

Agradecimientos

A las facilidades otorgadas por el H. Ayuntamiento de Teteles de Ávila Castillo Puebla para la realización de este estudio, en especial al personal que labora dentro del área de tesorería por el apoyo brindado para la comprensión general del proceso de cobro de impuestos.

Referencias

- [1] M. Agudelo, E. Chomali y J. Suniaga, «Las oportunidades de la digitalización en América Latina frente al Covid-19,» *Corporación Andina de Fomento / Naciones Unidas*, 2020.
- [2] R. Pérez Zuñiga, O. Camacho Castillo, E. Mena Hernández y G. Arroyo Cervantes, «Análisis general del gobierno electrónico en México,» *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, nº 9, 2016.
- [3] D. Avila Barrios, «El uso de las TIC en el entorno de la nueva gestión pública mexicana. Andamios Revista de Investigación Social,» *Andamios*, vol. 11, nº 24, pp. 263-288, 2016.
- [4] R. Pérez Zuñiga, O. Camacho Castillo, E. Mena Hernández y G. Arroyo Cervantes, «Análisis general del gobierno electrónico en México,» *Revista de Tecnología y Sociedad*, vol. 5, nº 9, 2016.
- [5] F. Hillier y M. Hillier, *Métodos cuantitativos para administración*, Mc Graw Hill, 2014.
- [6] INEGI, «Censo de población y vivienda 2020,» [En línea]. Available: https://www.inegi.org.mx/servicios/widgets_poblacion.html. [Último acceso: 10 Agosto 2021].
- [7] I. Patiño Galván y J. Ceja Pizano, «Modernización de los servicios públicos municipales a través de las TIC, desde una perspectiva integral,» *Dimensión Empresarial*, vol. 11, nº 2, pp. 70-88, 2015.
- [8] D. A. Flores Jaimes, E. De la Cruz Gámez, J. A. Montero Valverde y J. Carranza Gómez, «Diseño e Implementación de la metodología OOHDM en el desarrollo de un Sistema Web caso: Empresa Ingeniotics,» *Investigación y Ciencia Aplicada a la Ingeniería*, vol. 4, nº 25, 2021.
- [9] L. Joyanes Aguilar, *Big Data. Análisis de grandes volúmenes de datos en organizaciones*, Ciudad de México: Alfaomega, 2013.
- [10] A. Ramírez Uresti, «Pandemia y alfabetización digital,» *Forbes México*, 2021 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.forbes.com.mx/pandemia-y-alfabetizacion-digital/>. [Último acceso: 12 Agosto 12].

SISTEMA INTEGRAL PARA EVALUAR EL CRECIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE ALTO DESEMPEÑO

María del Carmen Chacón Olivares^{1*}, Mariana Rico Chagollan²,

¹Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, mariadelcarmen.co@irapuato.tecnm.mx¹, ²Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, mariana.rc@irapuato.tecnm.mx²

Área de participación: Ingeniería administrativa

Resumen

El presente proyecto presenta la determinación de elementos que conforman un sistema integral de evaluación que permita medir el nivel de madurez de los equipos de trabajo, un reto es la medición de los procesos de todas las áreas de la empresa, pues cada área tiene una perspectiva específica y objetivos particulares donde la suma de todo esto representa como resultado una organización de alto rendimiento. Para llevar a cabo el proyecto fue necesario conocer mediante una investigación exploratoria y documental las necesidades generales de cada uno de los equipos naturales de trabajo, también conocidos como equipos de alto desempeño, y con base a la información obtenida se establecen los indicadores de desempeño. El objetivo de la presente propuesta es establecer un sistema integral de medición para evaluar el crecimiento y fomentar los niveles de madurez en un 80% de los equipos de alto desempeño.

Palabras clave: Evaluación, Equipos de trabajo, Desempeño

Abstract

This project presents the determination of elements that make up a comprehensive evaluation system that allows measuring the level of maturity of the work teams, a challenge is the measurement of the processes of all areas of the company. Given that each sector has a specific perspective and specific objectives where the sum of all that represents as an outcome of a high-performing organization. To carry out the project, it was necessary to know through an exploratory investigation and the general documentary needs of each of the natural work teams, also known as high-performance teams, and based on the information obtained, the performance indicators were based. The objective of this proposal is to establish a comprehensive measurement system to assess growth and promote maturity levels in 80% of high-performance teams.

Keywords: Evaluation, Work teams, Performance

Introducción

La empresa objeto de estudio trabaja en tres diferentes segmentos de la actividad industrial, clasificadas en hogar, construcción y fundición, siendo este el más importante porque forma parte de la división de autopartes de Grupo Industrial Saltillo dedicada a la producción de piezas fundidas y maquinadas de alta complejidad en hierrogris y nodular, que a su vez es pionera a nivel mundial en la producción de cigüeñales en líneas de moldeo vertical y el único negocio de fundición en México que ofrece al mercado abierto piezas de seguridad en hierro nodular, ya que por más de 50 años se han producido piezas para diferentes industrias como la automotriz, de vehículos comerciales, ferroviaria, electrodomésticos, agrícola, construcción entre otras, y en la Industria Automotriz la línea que se produce es utilizada en los sistemas de frenos, suspensión, motor y transmisión.

El área de capacitación en donde se llevó a cabo el proyecto tiene como responsabilidad coordinar el crecimiento técnico del personal para el desarrollo de habilidades, conocimientos, actitudes y destrezas; requeridos para ejecutar con calidad las funciones productivas del puesto y además del desarrollo del talento humano, elevando

su productividad y competencia, así como impulsar proyectos de mejora continua que contribuyan a la rentabilidad del negocio y promover el desarrollo del sistema de **En's (Equipos Naturales)**; el sistema de En's es un método de trabajo adoptado por la empresa para el cumplimiento de los objetivos que consta en que cada uno de los colaboradores que ingresan pertenezcan a un equipo natural según el área y al turno en que ingrese, donde cada semana se reúne el equipo natural para realizar una sesión en el cual se muestran los resultados obtenidos durante la semana. El trabajo en equipo representa para las organizaciones una herramienta poderosa para dar respuesta a las crecientes exigencias externas (productividad, competitividad y tecnología) e internas (trabajadores motivados, productivos y participativos) [1]

Metodología

En la empresa objeto de estudio se tiene implementado el sistema de En's, sin embargo, no se cuenta con un sistema de medición que permita evaluar la etapa o nivel en que se encuentran actualmente los equipos y se detectaron como áreas de oportunidad (problemas) la disciplina operativa y el enfoque a solución de problemas, donde trabajando en estos dos puntos se fomentará el crecimiento de los mismos, estas áreas de oportunidad se presentan a partir de la falta de seguimiento puntual al sistema de En's, así como a la falta de interés por parte de los integrantes de los En's, por lo cual podemos definir que el problema a resolver es llevarlos a la siguiente fase de madurez.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema integral de medición (SIM), para evaluar los niveles de crecimiento en los equipos de alto desempeño y fomentar la madurez a través de sesiones que les permitan comprender el rol que desempeña cada uno dentro de la organización.

Objetivos específicos.

- 1.- Establecer las características con las que deben cumplir los equipos en cada etapa de madurez para diseñar la evaluación que permitirá medir el crecimiento.
- 2.- Analizar cuáles serán los factores que comprenderán el SIM para establecer las ponderaciones que permitirán realizar una evaluación efectiva y así dar seguimiento a problemáticas y resultados obtenidos
- 3.-Diseñar Scorecard a cada uno de los equipos naturales para evaluar los resultados mensuales con la finalidad de medir el crecimiento en disciplina operativa.

Justificación

El Sistema de En's fue implementado para crear, promover y mantener el trabajo en equipo para lograr el aprovechamiento del talento, experiencia e Inteligencia colectiva que genere una sinergia en seguridad, calidad y productividad que permita cumplir con las estrategias del sector fundición (personal sindicalizado y técnico). Tomando en cuenta que el nivel de madurez en el que se encuentran los En's en este momento es el nivel 2 y 3, refiriéndose a que los equipos son entrenados en técnicas de solución de problemas y participan en la solución efectiva de problemas básicos de su área. En la etapa 3 de madurez inicia la aplicación de un enfoque de mejora continua, así como la interacción y retroalimentación entre los miembros del equipo es abierta y continua, ya que llevan y dan seguimiento a los indicadores de su área y proceso, realizando acciones cuando estos presentan desviaciones de las metas, sin embargo, la repetición de actividades empieza a crear hábitos.

Se busca un crecimiento constante y esto se refiere a llevar a los En's al nivel 3 de madurez y al nivel 4 que consiste en que el facilitador/supervisor solo da apoyo al equipo cuando se requiere, ya que son autónomos; los equipos están orientados a la mejora de los procesos, priorizando y tomando acciones con la utilización de metodologías con enfoque analítico. Cualquier miembro puede tomar el papel de líder en la ausencia de este. En la etapa 4 de madurez los En's son efectivos y es responsabilidad del equipo tener bajo control el proceso y sus indicadores, por lo cual el nivel de madurez de los En's se medirá con auditorías cruzadas entre los coaches de diferentes áreas.

Es necesario entender que el método de empleo tradicional está muriendo, no se puede ser un gerente tradicional y esperar que sus empleados realicen toda su carrera profesional en la misma empresa, a esto se refiere un modelo de empleo tradicional, donde antes los empleados comenzaban y terminaban en una misma compañía, por lo cual desde los altos mandos se debe llevar una preparación constante que permitía formar líderes, los cuales fomenten la motivación en los empleados logrando un sentido de pertenencia y la formación es la base para el desarrollo de las capacidades.

Para lo cual los altos mandos deben tener en cuenta las fases del proceso administrativo (Figura 1) que representa la base para obtener los resultados previstos.

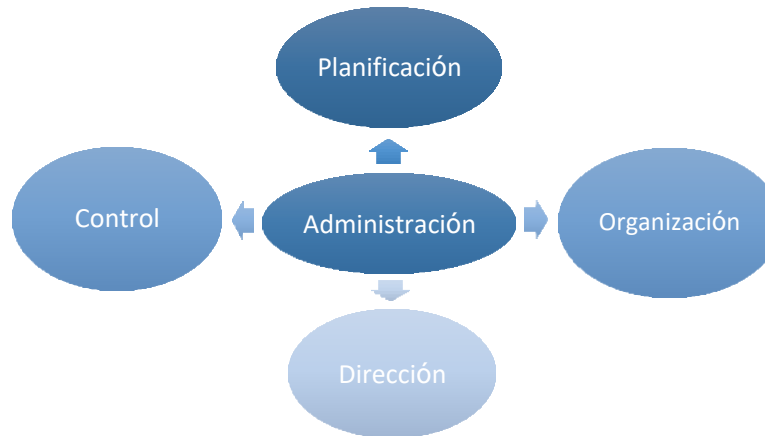


Figura 1 - Fases del proceso administrativo

Una organización de alto desempeño Significa ser el proveedor elegido, el empleador elegido y la inversión elegida, los tres elementos del triple balance, configuran el objetivo adecuado. [2]

Si se apunta solo a uno de estos tres elementos, no se alcanzará el objetivo y la organización no podrá sostener un alto desempeño, cuando los líderes comprenden la importancia del objetivo surgen naturalmente muchas preguntas, entre ellas ¿Qué es una organización de alto desempeño?

Las organizaciones de alto desempeño se aseguran de poder responder con rapidez a las necesidades de los clientes y adaptarse a los cambios del mercado, prevén las tendencias y se anticipan a ellas. Las innovaciones en los procesos se desarrollan para facilitar a los clientes los negocios, lo cual crea constante innovación en las prácticas operativas, las estrategias de mercado, los productos y los servicios. En las organizaciones de alto desempeño, la gerencia tiene contacto regular cara a cara con los clientes, no solo con los devotos, sino también con aquellos que se encuentran frustrados, molestos, o que no utilizan los productos y servicios de la organización. Los líderes sienten pasión por el desarrollo de un conocimiento sofisticado de los clientes y por compartir ampliamente la información en toda la organización, trabajar con las personas a quienes se sirve y escuchar con atención permite responder con rapidez y flexibilidad a las condiciones cambiantes [3].

Un equipo de alto desempeño tiene características claras y claves como lo es la sinergia, están diseñados para aprovechar el talento reunido con diversos puntos de vista, experiencias, criterios y capacidades, junto con información necesaria para resolver cuestiones de negocios. Tradicionalmente, un equipo de alto desempeño se conforma con un fin específico, considerando a sus miembros como los mejores y más brillantes para producir resultados extraordinarios estos deben de abordar cuestiones críticas y relevantes de solución inmediata.

En 2000 Ángel [4], señala que un equipo de trabajo de alto desempeño es un número pequeño de personas, que comparten conocimientos, habilidades y experiencias complementarias y que, comprometidos con un propósito común, establecen metas realistas, retadoras y una manera eficiente de alcanzarlas y compartirlas, asegurando resultados oportunos, previsibles y de calidad, por los cuales los miembros se hacen mutuamente responsables.

Una de los principales retos para México, particularmente las pequeñas y medianas empresas, es la formación de equipos de trabajo de alto desempeño. La creación de equipos de alto desempeño no es un tema mítico, sin embargo, no es fácil encontrarse con este tipo de equipos frecuentemente.

Para que se pueda construir un equipo de alto desempeño se debe crear un ambiente de confianza, liderazgo, buena comunicación, un claro entendimiento del objetivo a lograr y la participación de cada miembro para así procurar y aprovechar al máximo sus fortalezas. Al respecto, MCS (Consultores Asociados S.A.) [5], refiere que a pesar de que se sabe que los equipos que tienen buenos resultados son los que se destacan por sobre los demás, este criterio, por sí solo, no basta para señalar que constituyen un equipo de alto desempeño. Para constituirse en uno de ellos, no únicamente importa el ¿Qué se quiere lograr?, sino también el ¿Cómo se está trabajando para ello?

En México más del 90% de las empresas cae en la categoría de las PYMES, y es importante reconocer que no todas ellas tienen programas enfocados al desarrollo de habilidades gerenciales por sus dueños, directivos y gerentes. En una nueva era de conocimientos y cambios rápidos, aquellas compañías que logren desarrollar sistemas de liderazgo a través de los cuales los equipos de alto desempeño puedan potenciar sus competencias principales y se entienda que la alineación estratégica de sus diferentes áreas es un proceso continuo, en el cual los participantes de estos equipos participarán activamente en la negociación, discusión y replanteamiento de las estrategias con el fin de siempre mantener óptimos niveles de ejecución. [6]

La situación actual política y social es algo cotidiano para las empresas, entonces “El reto para cualquier equipo potencial reside en el encuentro del punto de equilibrio entre la selección y desarrollo como medio para contribuir el conjunto completo de habilidades complementarias, necesarias para alcanzar el propósito del equipo a lo largo del tiempo, comprometidos con un propósito común y con objetivos de rendimiento. [7]

Es un factor importante a considerar entonces que “Los miembros del equipo deben acordar ¿Quién va a realizar determinadas tareas?, ¿Cómo se van a establecer los planes? y ¿De qué manera van a conseguir los acuerdos?, ¿Qué habilidades hay que desarrollar? y ¿De qué forma el grupo tomará y modificará las decisiones? incluyendo ¿cuándo? y ¿cómo?”. [8] En la Figura 2, se muestran los principios básicos de los equipos, que son el compromiso, la responsabilidad y las habilidades; los cuales al fomentarlos se logrará un crecimiento no solo personal sino también laboral, ya que el desarrollo de habilidades se reflejará en mejores resultados y una mejor relación al colaborar.



Figura 2 - Principios básicos de los equipos

Otro factor a considerar en la integración de cualquier equipo es la identificación y motivación de los miembros para el logro de los objetivos, como nos menciona en 2006, González [9] “La motivación tiene algo que ver con las fuerzas que mantienen y alteran la dirección, la calidad y la intensidad de la conducta”. [10]

Hablar de motivación laboral, sin distinción, habla de motivación en el trabajo, pero el trabajo es una actividad compleja compuesta por muchas otras actividades que encierran aspectos sociales, psicológicos, políticos y económicos. Sin embargo, dentro de la empresa objeto de estudio uno de los problemas de la motivación es que el trabajo que realizan es monótono, hablamos de realizar una misma actividad sin variación alguna por mucho tiempo, donde el nivel de estudio de los empleados es secundaria mínimo y su mentalidad de superación no se ve reflejada en todos los colaboradores, el trabajo es parte de una rutina y el único factor motivante es llevar dinero seguro a su casa y mantener a sus familias; aunque este factor puede sonar realmente importante, no debemos perder de vista que la motivación intrínseca es la que nos lleva a buscar más y a superarnos, es cuando la persona se ve movida por el conocimiento y no por lo monetario.

En este orden de ideas, Mora C. [10], afirman que la gerencia debe estar plenamente identificada con la relevancia y el alcance que genera el lograr formar equipos cohesivos, reconocer la importancia de tener fines claros, capacitarlos permanentemente, darles soporte y proporcionar los mejores equipos a la organización para desarrollar sus funciones.

Desarrollo

En la siguiente tabla se muestran las acciones para la consecución del logro de los objetivos

Tabla 1 - Definición de estrategias para el logro de los objetivos

Objetivo	Acciones
Específico 1.- Establecer las características con las que deben cumplir los equipos en cada etapa de madurez para diseñar la evaluación de madurez que permitirá medir el crecimiento.	Se establece que para evaluar la madurez de los equipos de alto desempeño es necesario establecer primero los niveles de crecimiento, conforme los equipos van cumpliendo las metas y objetivos es necesario modificar el nivel de exigencia. Para esto se definen cinco niveles de crecimiento ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.
2.- Analizar cuáles serán los factores que comprenderán el SIM para establecer las ponderaciones que permitirán realizar una evaluación efectiva y así dar seguimiento a problemáticas y resultados obtenidos.	Para lo cual se tiene proyectado para medir el nivel de madurez, será a través de un formato diseñado y aprobado, en cuanto al desempeño operativo es necesario realizar una serie de actividades, que permitan producir un mayor nivel de responsabilidad, las cuales fueron: Publicar Agenda en salas y Entrega de Carpetas a En´s y rediseño de formatos
3.- Diseñar Scorecard a cada uno de los equipos naturales para evaluar los resultados mensuales con la finalidad de medir el crecimiento en disciplina operativa.	Integrantes nuevos en los En´s y en su mayoría no conocían el llenado de los formatos. Esta actividad se realizó dos veces debido a que los encargados de área, se enfocaron principalmente a hablar sobre las responsabilidades de la comisión y su importancia y faltó más información sobre el llenado de formatos

Descripción de los niveles de crecimiento de los equipos de trabajo.

Primer nivel. **No existe la integración en equipos de trabajo.** Esquema basado en que cada individuo realice bien sus operaciones y tareas. Organización de tipo funcional, con puestos individuales. La moral y la motivación pueden estar bajas.

Segundo nivel. **Equipos estructurados y formados en la mayoría de las áreas principales de la planta.** La misión y las bases de su operación están definidas, incluyendo una agenda y frecuencia para sus juntas. Los roles y las responsabilidades dentro de los equipos están claramente definidas y son aceptadas por todos los miembros.

Tercer nivel. **Los equipos son entrenados en técnicas de solución de problemas y participan en la solución efectiva** de problemas básicos de su área, inicia la aplicación de un enfoque de mejora continua. Se incluyen dentro de algunos equipos personales de las funciones de apoyo

Cuarto nivel. **Es responsabilidad del equipo el tener bajo control el proceso y sus indicadores.** Los equipos están orientados a la mejora de los procesos, priorizando y tomando acciones con la utilización de metodologías con enfoque analítico. Cualquier miembro puede tomar el papel de líder en la ausencia de este, el facilitador / supervisor solo da apoyo al equipo cuando se requiere, son autónomos. La mayoría de los equipos logran los objetivos y metas planeadas y se determinan entonces que son efectivos

Quinto nivel. **Los equipos toman 100 % la responsabilidad de la planeación del trabajo diario y la mejora continua.** La organización tiene completa su integración en equipos naturales de trabajo de acuerdo a su plan y está mejorando su sistema de equipos. La mayoría de los equipos se consolidan como de Alto Desempeño, (al ser efectivos, eficientes y autocontrolados (autónomos), con un enfoque de progreso hacia el mejoramiento constante de todos los indicadores a través de herramientas, como Kaizen, Six Sigma, Lean Sigma, etc., cuando es necesario los equipos toman 100 % la responsabilidad, la solución de problemas y mejoras en procesos son parte habitual de las actividades de los equipos.

Tomando en cuenta los niveles de crecimiento se definen las siguientes etapas de madurez de los equipos de alto rendimiento son las siguientes (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

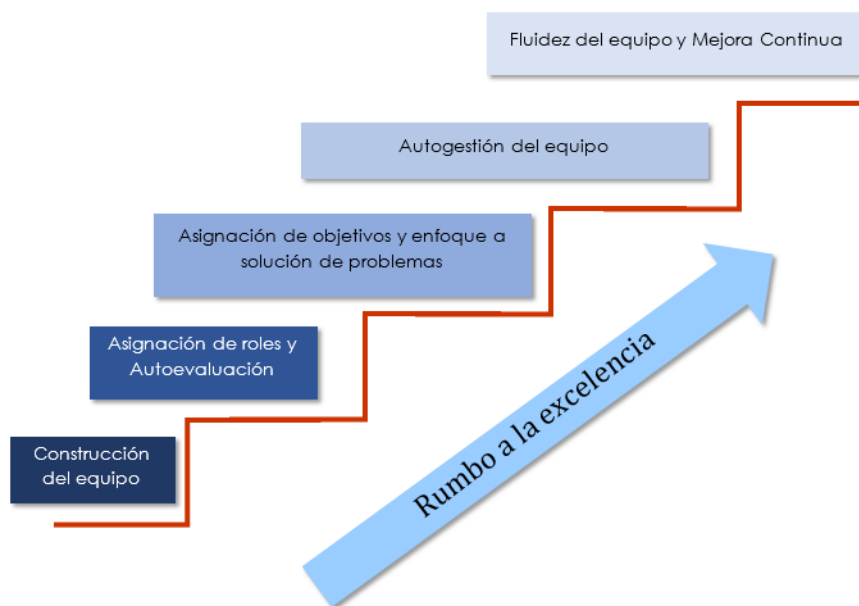


Figura 3 - Etapas de madurez.

Resultados

Diseño de un Sistema de Integral de Medición

El sistema diseñado para medir el crecimiento de los equipos naturales es el siguiente, tomando en cuenta todas las actividades realizadas y sesiones con los representantes de área, asignadas para tratar este tema de trabajo en equipo, queda establecido e integrado de la siguiente forma:

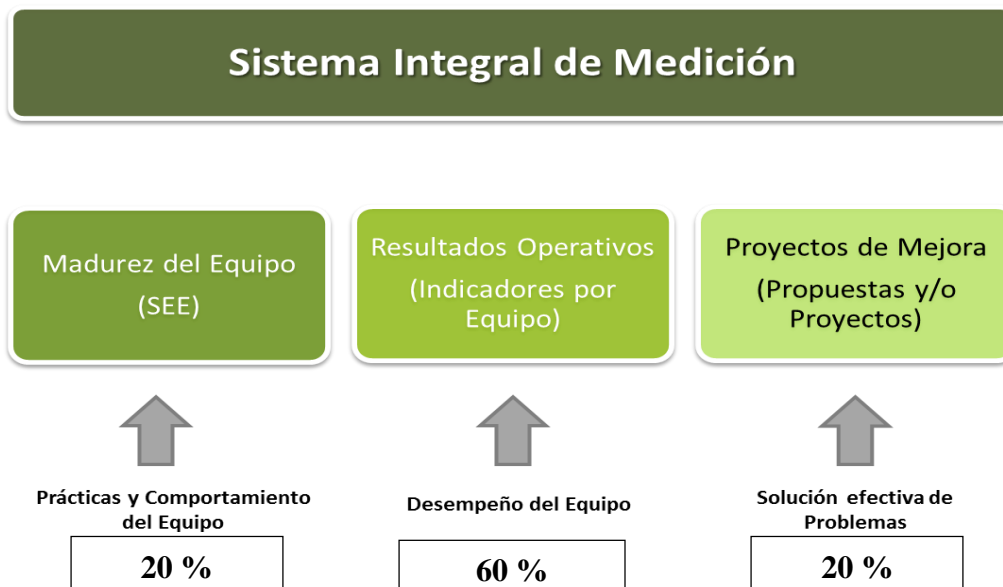


Figura 4 - Sistema integral de medición

La madurez del equipo que será evaluado con una ponderación del 20%, donde los equipos que se encuentren en el nivel 5 de madurez obtendrán el 20%, sin embargo, esta realidad es algo aún no visto dentro de la empresa objeto de estudio, según el nivel en que se encuentren les corresponderá un porcentaje de crecimiento.

Se le asignó un 20% porque la evaluación de madurez que se diseñó, mide únicamente el comportamiento y prácticas del equipo, los resultados monetarios se ven reflejados en el desempeño del equipo, lo ideal es llevar a los equipos a un nivel de madurez 5, donde ya sean autónomos, sin embargo, en este momento nos encontramos en el nivel 3 donde es necesaria la presencia continua del coach para llevar a cabo las actividades, ya que la supervisión puntual aún representa un elemento necesario.

Con la implementación de los formatos creados, se logró establecer a todos los equipos en el nivel 3 dando un paso hacia el nivel 4. Donde se ve representado que aparentemente la madurez del equipo y los proyectos de mejora tienen menor ponderación, sin embargo, son los indicadores que reflejan la estabilidad de la empresa.

Se les asigna una ponderación del 60% al desempeño operativo, pues los resultados y niveles en ventas se ven reflejado en el cumplimiento de los mismos. Para esto se diseñó un Scorecard para cada equipo natural que permite medir el desempeño realizado, los objetivos van 100% dirigidos a su área, con el conocimiento y propósito de que sean alcanzables.

Por lo tanto, el sistema de evaluación de Madurez se ve reflejado en la siguiente Figura 5



Figura 5 - Evaluación de Madurez

Donde la evaluación está constituida por dos factores, la autoevaluación y la evaluación cruzada. La autoevaluación es realizada por el coach y los miembros del (EN) así como el departamento de mejora continua y la evaluación cruzada es realizada por el coach de otro equipo con la intención de realizar las observaciones necesarias para mejorar y obtener un punto de vista distinto y real de la situación actual del equipo.

Cada nivel de madurez constituye una etapa distinta, con un objetivo en particular, los equipos que se encuentran en nivel 3 tienen como finalidad la asignación de objetivos, la cual se lleva a cabo en el evento de integración y enfoque a la solución de problemas, el cual se trabaja a través de talleres que les dan herramientas a los empleados, por lo tanto, tienen una puntuación de 12, sobre los 20 puntos posibles. Para medir el resultado operativo, cada (EN) según su área tiene un Scorecard, diseñado para evaluar sus resultados. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra un ejemplo de los indicadores que se evalúan, dependiendo del área, cada uno de los indicadores tiene un objetivo y a su vez cada comisión tiene un valor, que representara el 60%. Por último, el sistema de mejora continua está incorporado por la presentación de proyectos o propuestas, que den un valor agregado a la operación y representa el otro 20% de la ponderación del sistema de evaluación.

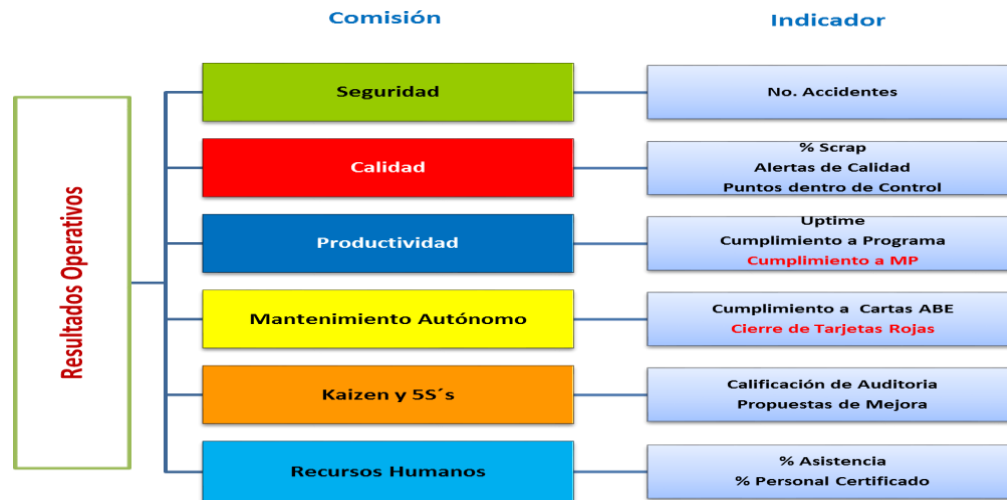


Figura 6 - Indicadores de medición

Los proyectos de mejora se toman en cuenta y se le asigna una ponderación, pero el control queda estrictamente en el departamento de mejora continua.

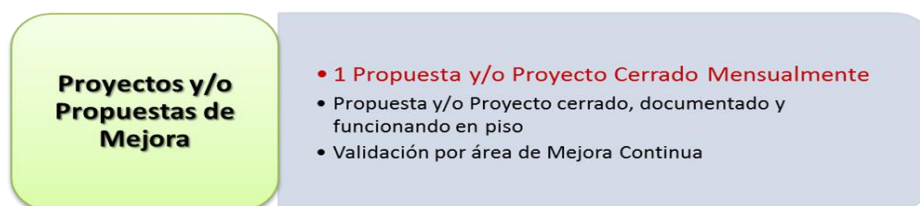


Figura 7 - Resultados y acciones de mejora

En la Tabla 2 se presentan las estrategias de propuestas de mejora para resolver las áreas de oportunidad detectadas.

Tabla 2 - Estrategias de Mejora

Situación	Solución
Alta rotación de personal	Debido a la alta rotación de personal, los equipos de alto desempeño se ven integrados por miembros nuevos que no conocen la finalidad de los equipos naturales y eso implica desconfianza entre los miembros. Por lo que se realiza el evento de integración de toda la planta. Se renta el parque eco aventura, para llevar a cabo el evento donde se realizaron dinámicas de juego que fomentaran la integración y confianza de sus integrantes, así como el establecimiento de objetivos para trabajar el resto del año
No se cuenta con un sistema de medición de madurez de equipos naturales	Se establece un sistema de medición y reconocimiento aprobado por el director de la planta Cifunsa Bajío así como el gerente de disciplina operativa. Se realiza formato que permitirá evaluar la madurez de los equipos mediante auditorías cruzadas.
Falta de liderazgo por parte de los Team ledear	Para solucionar esta situación, se establecieron tres talleres cada tres meses, en la cual se trabajaran temas como manejo de grupo, control de estrés, manejo de conflictos, toma de decisiones.
Desconocimiento de los objetivos de producción mensuales	El 70% de los equipos desconocía cuales eran los objetivos mensuales que se tenían que cumplir, por lo cual se visitó a todos los jefes y coordinadores de áreas para re-establecer los objetivos mensuales
Presentación de resultados	Se agenda cada seis meses presentación general de resultados al director de la planta y coordinadores de área, para evaluar crecimiento y grado de madurez

Conclusión

Es complicado llevar a cabo un proyecto que implica más trabajo y esfuerzo a los colaboradores, muchas veces la mentalidad influye a pensar que entre menos esfuerzo se realice más productivos serás; sin embargo, es una frase que es para analizarse realmente, tal vez en este momento represente más trabajo para cada uno de los empleados y significa invertir tiempo que se verá reflejado en dinero para la organización, puesto que los trabajadores deben retirarse de su área de trabajo, por ejemplo para dar un recorrido o una plática de seguridad como indican los formatos, pero debemos tomar en cuenta que esto lleva más trascendencia, tal vez primeramente represente ese gasto, pero conforme pase el tiempo lo veremos reflejado en personas comprometidas con su trabajo donde conocen las políticas, los procedimientos, los riesgos y tendrán en mente la mejora continua de su labor. Esto a través del seguimiento constante de líderes de los En´s, comunicando los logros y avances constantes, monitoreando los resultados operativos. La motivación juega un factor importante en la obtención de resultados, por lo cual se diseña un sistema de reconocimientos

Con base al desarrollo e implementación de una cultura de trabajo con equipos de alto rendimiento se puede determinar que el trabajo colaborativo excluye la mentalidad de hacer lo que me corresponde. El proyecto involucra por esa misma razón primeramente a los coach, ellos comienzan a darse cuenta del verdadero valor de trabajar bajo equipos de alto desempeño y se darán cuenta de que el coordinar sus áreas será más sencillo, pues cada empleado sabrá donde, cuando y como debe operar, buscará proponer y no solo adaptarse, y buscare mejorar y no el conformismo, estamos en una época donde la adaptación al cambio representa el crecimiento o la muerte para muchas empresas, y es muy cierto que el movimiento es vida.

REFERENCIAS

- [1] M. Mantilla y D. García, «Trabajo en equipos auto dirigidos: competencias personales y conductas necesarias para su éxito,» *Revista Venezolana de Gerencia*, vol. 15, nº 49, pp. 51-71,2010.
- [2] C. William Marín, «La Organización servidora de alto desempeño,» *Corporación Universitaria Adventista*, 2014.
- [3] P. Gioda, *Lideres +Liderazgo*, España, 2009.
- [4] A. Ángel, «Trabajo en equipo de alto desempeño,» 2000. [En línea]. Available: www.analitica.com/va/economica/organizacion/5383512.asp. Consultores Asociados S.A., «Equipos de alto desempeño, uno para todos y uno para,» 2008. [Enlínea]. Available: <http://www.mcs.cl/> Santiago Chile. .
- [5] M. Dini y G. Stumpo, *Mipymes en América Latina: un frágil desempeño y nuevos desafíos para las políticas de fomento*, Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2020.
- [6] C. Jean., *La personalidad.*, Francia: Lito Arte, 1989.
- [7] R. Cárdenas y L. Hilda, «El desarrollo humano integral, la teoría de sistemas y el concepto de competencias en el ámbito académico universitario,» 2006. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57937306>. [Último acceso: 07 07 2022].
- [8] M. J. González, *Habilidades directivas*, España: Innovación y Cualificación S.L., 2006.
- [9] C. Mora Vanegas, «Gerencia y Equipos de trabajo,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.gestiopolis.com/organizacion-talento/equiposde-trabajo-y-su-gerencia.htm>.
- [10] S. Scaramussa, «La contribución del Balanced Scorecard como instrumento de gestión estratégica en el apoyo a la gerencia,» *Revista Visión de futuro*, vol. 12, nº 1, 2010.

Políticas públicas basadas en los sistemas de soporte de decisiones espaciales

FALORO

M. L. López-Roa^{1*}, R. Reyes-Valenzuela², I. G. Polanco-Valenzuela³, A. P. Bórquez-López⁴ y D. Maytorena-García⁵

^{1, 3 y 4} Tecnológico Nacional de México campus Valle del Yaqui, Av. Tecnológico Block 611, C. P. 85276, Bécum, Sonora

² Tecnológico Nacional de México campus Orizaba, Oriente 9, Emiliano Zapata, C. P. 94320, Orizaba, Veracruz

⁵ Tecnológico Nacional de México campus Guaymas, Km. 4 Carretera al Varadero Nacional, Las Playitas, C. P. 85480, Heroica Guaymas, Sonora

* maria.lr@vyaqui.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

En México poco se ha hecho en materia de toma de decisiones basadas en sistemas de soporte de decisiones espaciales, es decir, no se ha sabido aprovechar los avances tecnológicos para brindar mayor efectividad a la operatividad de la administración pública, lo que podría implicar ahorros significativos al disminuir mediante estimaciones y modelados de datos los riesgos al elegir una decisión.

Palabras clave: Administración pública, soporte espacial de decisiones, gobernanza

Abstract

In Mexico, has been done in terms of decision-making based on spatial decision support systems, that is, it has not been possible to take advantage of technological advances to provide greater effectiveness to the operation of public administration, which could imply significant savings. by reducing through estimates and data modeling the risks when choosing a decision.

Key words: Public administration, spatial decision support, governance

Introducción

La toma de decisiones en la administración pública ha sufrido cambios significativos desde sus incipientes orígenes, sin embargo, es necesario dando pasos hacia adelante y continuar creciendo para adaptarnos rápidamente a los cambios que nuestro entorno y la ciudadanía demandan.

En virtud de lo anterior, no podemos continuar tomando decisiones de la misma manera en qué se hacía siglos atrás. La tecnología nos brinda herramientas para mitigar los riesgos de las malas decisiones, al permitirnos incorporar variables a distintos escenarios y crear patrones y modelos en los cuales no sólo se aborde lo teórico, sino que se vayan adecuando a las necesidades particulares de cada situación.

La toma de decisiones involucra un proceso complejo el cual se lleva a cabo a través de diferentes fases, involucra el juicio humano de los tomadores de decisiones agrupados de diferentes maneras y finalmente, en la mayoría de los casos, requieren de un sistema que apoye este proceso, puesto que la recolección, almacenamiento y procesamiento de la gran cantidad de datos, información y modelos involucrados en la decisión es una tarea dispendiosa de realizar en forma manual. El objetivo principal de estos sistemas, comúnmente denominados sistemas de soporte a las decisiones, es el de apoyar al tomador de decisiones durante el proceso y no el de reemplazarlo (Lizarazo & Díaz, 2006).

Ese trabajo versa sobre cómo podemos aprovechar los sistemas de información para la toma de decisiones y aplicarlos en apoyo a la administración pública, específicamente, a políticas públicas para el fortalecimiento municipal en el estado de Sonora.

Este análisis parte de la definición teórica de los conceptos más relevantes para el entendimiento del tema.

Las decisiones se toman generalmente para solucionar problemas, reducir los efectos negativos de una situación en particular o para aprovechar oportunidades. El proceso de toma de decisiones es una de las actividades que con mayor frecuencia se lleva a cabo en el mundo de la administración.

En virtud de lo anterior no se debería escatimar recursos para lograr las mejores soluciones a las interrogantes que en materia de políticas públicas se les presenten a los gobiernos -en nuestro caso municipales. Contar con un maduro sistema de toma de decisiones permitirá ir minimizando las probabilidades de fracaso, lo que se traducirá en la mejor gestión de los recursos.

Considerando que en Sonora cuenta con 72 municipios con condiciones particulares que distan mucho de ser homogéneas, poder brindar soluciones de información podría significar una gran diferencia para lograr el éxito de las políticas públicas que desde lo local se emitan.

Por esto, la interrogante principal es ¿Cómo aplicar sistemas de soporte a la toma de decisiones que apoyen al fortalecimiento municipal en el estado de Sonora?

Metodología

La elección o selección del tipo de investigación depende, en alto grado, del objetivo del estudio del problema de investigación y de las hipótesis que se formulen en el trabajo que se va a realizar, así como de la concepción epistemológica y filosófica del equipo investigador.

En este caso, la investigación será del tipo mixto al considerar los siguientes abordajes:

Para Cerda (1998), la investigación histórica significa estudiar y examinar los fenómenos, como producto de un determinado desarrollo, desde el punto de vista como han aparecido, evolucionado y llegado al estado actual.

La investigación documental consiste en un análisis de la información escrita sobre un determinado tema, con el propósito de establecer relaciones, diferencias, etapas, posturas o estado actual del conocimiento respecto al tema objeto de estudio.

Se considera como investigación descriptiva aquella en que, como afirma Salkind (1998), “se reseñan las características o rasgos de la situación o fenómeno objeto de estudio”.

Para Salkind (1998), la investigación correlacional tiene como propósito mostrar o examinar la relación entre variables o resultados de variables. De acuerdo con este autor, uno de los puntos importantes respecto a la investigación correlacional es examinar relaciones entre variables o sus resultados, pero en ningún momento explica que una sea la causa de la otra.

Se puede concluir a partir de estos abordajes que esta investigación será mixta incluyendo aspectos de estos cuatro grandes enfoques, lo que permitirá robustecer los resultados del trabajo final.

Por otro lado, los sujetos de información serán -mayormente- instituciones gubernamentales, supranacionales, así como testimonios de servidores públicos del área de planeación que puedan brindar datos concisos acerca de las interrogantes que se busquen resolver con este trabajo.

A partir de ello, se obtendrán mediante fuentes tanto primarias como secundarias la suficiente evidencia que permita respaldar los hallazgos e hipótesis que se desprendan de este documento y que con ello se consolide la calidad necesaria para compartir los descubrimientos en foros de debate tanto académico como de la sociedad en general para ampliar el panorama y recoger información para su mejora.

Resultados y discusión

Marco jurídico

En materia municipal, las líneas de debate y la mayoría de las reformas ante las cámaras, pendientes de dictaminarse, se orientan a la revisión de los artículos 115, 116, y 124 constitucionales. Se busca mayor claridad sobre qué atribuciones y capacidad de Gobernación tienen los Estados y cuáles directamente corresponden a los municipios para algunos actores, fieles a la concepción primaria del federalismo mexicano como acuerdo entre Estados para crear la Federación, no se puede incluir a los municipios como parte integrante de esta coma aunque otros consideran que los municipios sí deben formar parte del pacto federal otros más afirman que hay plena soberanía depositada en los municipios y que son los artículos 115 y 116 los que habrían de reconocer esa capacidad de Gobernación en cualquiera de los casos, parece haber consenso en la necesidad de que los congresos locales junto con el Congreso de la Unión aborden el tema para generar mayor claridad entre las atribuciones de estos órdenes de Gobierno.

Teoría del estado

Para poder entender cómo se administra un Estado –entendiendo por Estado aquella nación que cumple con los elementos mínimos señalados por Hall e Ikenberry (1993)-, es imprescindible conocer los tipos de organización política que han existido para poder emitir un juicio de valor que nos permita conocer las principales bondades de cada uno y crear una base sólida para generar un impacto positivo, es por ello por lo que, Cárdenas (2017) asevera:

“Lo que hoy en día llamamos Estado, se distingue de otras formas de organización política previas. Con antelación al Renacimiento existieron estructuras de organización política basadas en la unidad territorial, en la existencia de ejércitos permanentes y/o en la existencia de una hacienda pública. Sin embargo, a diferencia de esas formas pre-estatales en donde podía existir una o algunas de esas características, el Estado moderno reúne todas las anteriores condiciones, e incorpora otras, como la existencia de un orden jurídico exclusivo y uniforme aplicable a un gran territorio, categorías jurídico-políticas como la soberanía, y el monopolio de la fuerza legítima.”

Asimismo, destaca un camino de evoluciones de organizaciones políticas en las cuales destaca las principales periodizaciones históricas de la manifestación de los fundamentos económicos, filosóficos y jurídicos del Estado moderno: el Estado Absoluto, el Estado liberal de derecho, el Estado del bienestar, el Estado constitucional y el Estado neoliberal. Siento este último el vigente en el caso del Estado mexicano y sobre el cual se abocará este trabajo.

Ahora bien, para hablar del neoliberalismo como sustento de la transformación del estado mexicano, resulta vital señalar que para el neoliberalismo existe una relación inversa entre las actividades económicas del Estado y los derechos ciudadanos. Por tanto, y en la medida en que se exige que el Estado apoye el desarrollo de las estructuras de mercado, pues es ahí donde se manifiestan las libertades individuales, se propone que sea sometido a una doble refuncionalización: primero, reduciendo su participación directa en la economía y transfiriendo los activos públicos al capital privado, lo que permitiría la racionalización de las acciones del gobierno y a la vez facilitaría la puesta en práctica de mecanismos de evaluación de las funciones públicas; segundo, eliminando las políticas redistributivas del ingreso -base de los programas de beneficio social- que habían creado una gran masa de grupos de interés político que podían ejercer presión sobre el propio Estado (Huerta, 2005).

Administración pública

El segundo pilar de este trabajo es el concepto de administración pública, del cual existen grandes exponentes, sin embargo, se hará una pequeña reseña de aquellos que más se han destacado y poco de reflexión acerca del proceso histórico del estado mexicano.

Los estudios que sobre administración pública se realizan, se enfocan, por lo general, a la actividad cotidiana y a los procesos de las instituciones gubernamentales; y pocos centran su atención en reflexionar sobre el carácter de la disciplina (González, 2004).

A menudo, se realizan investigaciones y se habla indistintamente de la Administración Pública sin detenerse a pensar si se están refiriendo a ella como ciencias, como institución estatal, como objeto de estudio o como práctica administrativa. Esto encuentra su razón en que la mayoría de los trabajos dedicados al estudio de la Administración Pública como ciencia, han concluido que el objeto de ésta es la propia administración pública, de manera que no existe, a simple vista, una diferenciación conceptual entre la materia y la disciplina, entre el objeto y la ciencia. Esta definición parcial del objeto de estudio ha contribuido a que existan dificultades para que la Administración Pública sea considerada como ciencia.

Por ello, de acuerdo con Guerrero (1989): La administración pública mexicana, era centralizada y se le encontraba a cada paso encarnada en sus representantes, puesto que su centralización y jerarquía la situaban por todas partes. En sus incipientes inicios se subrayó la convivencia separada de la centralización gubernamental y la centralización administrativa, hoy día profusamente imbricadas.

Las reformas borbónicas del siglo XVIII sintetizan el legado histórico hispánico. Pero, dentro del período de la Casa de Barbón, fue la etapa de Carlos III la que preparó los elementos básicos del México moderno. Lo que no sabemos con más detalle es como ocurrió el traspaso de las instituciones hispánicas al México independiente y no tenemos por propósito explorarlo aquí sino sólo apuntar algunos caminos que nos lleven a entender básicamente este legado histórico. Para los fines de esta investigación es suficiente remontarnos al período gubernamental de Carlos III, pues en este tiempo se forma el caldo de cultivo dentro del cual se cuajaron los ingredientes fundamentales de la administración pública mexicana.

Las reformas borbónicas marcan los límites de una nueva organización del Estado y la implantación de nuevas prácticas gubernamentales que forjarán las bases del México moderno y establecerán los límites históricos de esta investigación. Nacen del mismo principio del que se originaron las reformas en Francia con Luis XVI, en Prusia con Federico II y en Austria con María Teresa. En general estas prácticas tienen su base en el regalismo, caracterizado por la formación del concepto del patrimonio estatal y supresión de los poderes intermedios.

El Estado mexicano ha sido expropiador y en buena medida su patrimonio nació de procesos expropiatorios. Volvamos al punto histórico original, 1767, cuando la expatriación de los regulares ignacianos dotó al Estado hispánico de un cuantioso capital formado por haciendas, fincas rústicas y urbanas, capitales, réditos y un sinnúmero de bienes muebles y semovientes.

El Estado mexicano nació dotado de instituciones y recursos, nació siendo un Estado administrativo con capacidad de gerencia pública. En 1821 también era propietario de fábricas y expendios comerciales en los que se procesaba y comerciaba el tabaco. Era un Estado-empresario. El que hoy día PEMEX, la Comisión Federal de Electricidad, NAFINSA, FERRONALES, la banca nacional y otras muchas instituciones económicas de la administración pública existan no es un hecho fortuito, sino el producto de una tradición ancestral, de una centralización que parece irreversible y de la acumulación de instituciones administrativas que representan, de hecho, el organismo y la actividad del Estado mexicano. En suma, el Estado nació dotado en recursos materiales y acostumbrados a administrar la economía. No tuvo que aprender cómo intervenir en la economía, pues sus lecciones iniciales las había cursado como alumno sobresaliente varias décadas atrás, en los días de Carlos III.

Si el mundo moderno se caracteriza científicamente por la especialización del saber, y si la administración pública es el objeto de conocimiento de una disciplina especializada, el mejor camino para ingresar al estudio de la administración pública lo constituye la ciencia de la administración.

Es por ello por lo que la Ciencia de la Administración (Guerrero, 2019) es una disciplina singular que detenta su propio objeto de desarrollo científico. No siendo un campo de conocimiento pluri, multi pan o transdisciplinario, ello no quiere decir que no guarde estrechos vínculos con otras ciencias sociales que le son afines.

El concepto moderno de la Administración evidentemente ha venido cambiando el concepto de la Administración con el correr de los años (Placencia), por ello resulta importante que se tenga una idea bien clara de lo que se entiende por Administración, para con ello dar paso a lo que se entiende por administración pública.

En todos los tiempos y sociedades desde las primitivas hasta las modernas, el hombre se ha preocupado por el manejo de los bienes o de los intereses materiales o económicos, es por ello por lo que a la Administración se

En ese contexto, el concepto de administración es tan general que puede señalarse que toda persona entregada a una actividad en cooperación con otras trabaja en una administración.

Por lo tanto, la Administración pública aprovecha todas las experiencias de la administración en general, sus técnicas, sus métodos, principios y procedimientos.

Sistemas de soporte de decisiones espaciales

El tercer eje de este trabajo son los sistemas de soporte de decisiones espaciales, pero iniciaremos definiendo qué es un sistema de información. Se entiende por "Sistema de Información" al conjunto de información con herramientas informáticas, es decir, con programas informáticos o software (Servicio Geológico Mexicano, 2017). Si el objeto concreto de un sistema de información (información+software) es la obtención de datos relacionados con el espacio físico, entonces hablamos de un Sistema de Información Geográfica o SIG (GIS en su acrónimo inglés, Geographic Information Systems).

Así pues, un SIG es un software específico que permite a los usuarios crear consultas interactivas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier tipo de información geográfica referenciada asociada a un territorio, conectando mapas con bases de datos.

El uso de este tipo de sistemas facilita la visualización de los datos obtenidos en un mapa, con el fin de reflejar y relacionar fenómenos geográficos de cualquier tipo, desde mapas de carreteras hasta sistemas de identificación de parcelas agrícolas o de densidad de población. Además, permiten realizar las consultas y representar los resultados en entornos web y dispositivos móviles de un modo ágil e intuitivo, resolviendo problemas de planificación y gestión geográfica.

Ahora bien, ¿cómo funciona un SIG?

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Las principales cuestiones que puede resolver un Sistema de Información Geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

1. **Localización:** preguntar por las características de un lugar concreto.
2. **Condición:** el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
3. **Tendencia:** comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
4. **Rutas:** cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
5. **Pautas:** detección de pautas espaciales.
6. **Modelos:** generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Por ser tan versátiles, el campo de aplicación de los Sistemas de Información Geográfica es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial. La profunda revolución que han provocado las nuevas tecnologías ha incidido de manera decisiva en su evolución.

Partiendo de estas grandes generalidades, se pasa a los sistemas de soporte de decisiones espaciales, los cuales Un sistema de soporte de decisiones espaciales es un tipo específico de herramienta de software que ayuda a los usuarios humanos a comprender las mejores formas de implementar soluciones espaciales (Natinbag, s.f.). En general, el software de soporte de decisiones ayuda a los humanos a tomar decisiones sobre la gestión de los recursos. Para los sistemas de soporte de decisiones espaciales, estas decisiones a menudo se refieren al uso de la tierra o el espacio.

Los expertos describen los sistemas de apoyo a la decisión espacial (SDSS) como sistemas interactivos que brindan orientación al proporcionar valores para elementos específicos de un entorno espacial. Aquellos que usan y observan este tipo de sistemas identifican componentes de apoyo a la decisión espacial, como la inteligencia, donde los sistemas obtienen información crítica aplicada a un modelo espacial. Los profesionales también pueden referirse al concepto de elección, donde se comparan y contrastan varias soluciones disponibles en un sistema de apoyo a la decisión espacial. El soporte de decisiones espaciales de criterios múltiples de alto nivel implica evaluar más de una variable aplicada a un mapa de un espacio, a fin de elegir la mejor solución entre varias opciones disponibles.

Ejemplos de la implementación de los sistemas de soporte para decisiones espaciales hay muchos, pero ninguno, al menos en México ha trabajado alguna área de la administración pública, por lo cual, resulta menester aplicar las ciencias y tecnologías en favor de la administración pública.

La utilidad principal de un Sistema de Información Geográfica radica en su capacidad para construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales (cartografía). La construcción de modelos constituye un instrumento muy eficaz para analizar las tendencias y determinar los factores que las influyen, así como para evaluar las posibles consecuencias de las decisiones de planificación sobre los recursos existentes en alguna área de interés.

En el ámbito social dirigida a la gestión de servicios como sanitarios, centros escolares, etc., proporcionan información sobre los centros ya existentes en una determinada zona y ayudan en la planificación de ubicación a nuevos centros. Estos sistemas aumentan la productividad de optimizar recursos. Pueden desarrollarse aplicaciones que ayuden a resolver un amplio rango de necesidades, como, por ejemplo:

- Producción y actualización de la cartografía básica.
- Administración de servicios públicos (acueducto, alcantarillado, energía, teléfonos, entre otros).
- Atención de emergencias (incendios, terremotos, accidentes de tránsito, entre otros).
- Estratificación socioeconómica.
- Evaluación de áreas de riesgos (prevención y atención de desastres).
- Localización óptima de la infraestructura de equipamiento social (educación, salud, deporte y recreación).
- Formulación y evaluación de planes de desarrollo social y económico.

La reducción de la complejidad del mundo real en la modelización de un SIG puede conducir a resultados diferentes. El proceso de modelización en sí mismo no sólo está relacionado con el mundo real, está limitado por los SIG. Por lo tanto, el resultado del proceso de aplicación puede variar considerablemente y se pueden crear demasiados errores. La representación del mundo real puede pasar por alto fenómenos importantes, o los modelos pueden no representar el mundo real de acuerdo con los objetivos de los SIG. Hay varias etapas de planificación, que puede ayudar a prevenir los errores hasta el completo fracaso del proyecto SIG (Leija, 2010).

Federalismo

En años recientes, la discusión sobre el federalismo se ha estructurado en tres diferentes ámbitos, los cuales ubicamos como un conjunto de bloques y sub-bloques que agrupan las principales líneas del debate. Estos tres grandes ámbitos son: Federalismo constitutivo; Federalismo administrativo y lo que identificamos como otras formas de federalismo.

En el ámbito del Federalismo constitutivo destacan las estructuras de gobierno que conforman los poderes ejecutivos en sus tres niveles: el federal; las entidades federativas y los municipios. Aquí se ubican también los tres órdenes de gobierno en el nivel federal: ejecutivo, legislativo y judicial. Las líneas del debate incluyen: 1) formas de gobierno; 2) fortalecimiento municipal; 3) distribución competencial; 4) acción de inconstitucionalidad y controversia, y 5) descentralización y regionalización de la justicia.

Un segundo bloque de temas presentes en la discusión se refiere al Federalismo administrativo, en el que se resume el debate sobre la coordinación intergubernamental y el cual tiene que ver con la forma operativa que ha venido adquiriendo el ejercicio del poder en los años recientes de transición democrática.

En este bloque, los dos temas abordados con más frecuencia son, en primer lugar (y ocupando una posición central en la mayor parte de las discusiones), el tema hacendario, desagregado en tres componentes principales: ingresos, gasto público y deuda. El gasto público se identifica como uno de los temas de mayor recurrencia en las discusiones sobre la descentralización del presupuesto.

Las líneas de debate que se derivan de este sub-bloque son: 6) Responsabilidades hacendarias y 7) Reglas de rendición de cuentas y profesionalización. En un segundo sub-bloque y dentro del tema de Coordinación intergubernamental, identificamos varios temas emergentes que pueden encontrarse más o menos presentes en el debate, algunos de ellos de más larga discusión. Las líneas de debate que se derivan de este sub-bloque son: 8.1) Seguridad pública; 8.2) Asentamientos humanos y vivienda; 8.3) Régimen del Distrito Federal; y más recientemente, 8.4) Regiones y coordinación metropolitana.

Se destaca el federalismo el fortalecimiento municipal, del que se destacan actores como asociaciones municipales, especialistas y la comunidad intelectual abordan el tema del fortalecimiento municipal en donde la principal discusión plantea el control que ejercen ejecutivos estatales sobre recursos y atribuciones que corresponderían a los municipios, pero también las frágiles capacidades institucionales de algunos de los municipios para ejercer cabalmente las atribuciones y tareas encomendadas.

En virtud de lo anterior surgen nuevas formas de coordinación e integración de gobiernos locales, entre una recentralización y una clarificación de competencias surge la necesidad de hacer reformas que atiendan a la diversidad municipal: muchos municipios ya forman parte de una metrópoli que requiere de reglas nuevas, mientras que otros más pequeños y con rezagos requiere la subsidiariedad y el apoyo institucional para el cumplimiento de sus responsabilidades.

Un tercer factor para considerar son los temas recurrentes como repensar la integración del Ayuntamiento y sus funciones, explorar otras formas de gestión, como el city manager, y en general, la búsqueda de libertad municipal, flexibilidad y mejores formas de coordinación intergubernamental. La reelección de presidentes municipales e integrantes del Ayuntamiento, pero con claros esquemas de rendición de cuentas.

Trabajo a futuro

Sin duda no hay muchos estudios nacionales en la materia, por lo que se considera que deberá tornarse necesario seguir investigando al respecto para generar impactos positivos en la sociedad.

Conclusiones

Por todo lo aquí expuesto es fundamental dar soporte a la toma de decisiones municipales que permitan gestionar de mejor manera los recursos con que cuentan, sin embargo, todo tiene que ser hecho a medida, reconociendo las frágiles capacidades de algunos municipios a quienes habrá que brindarles especial atención.

Considero que, desde un enfoque federalista, hacer un estudio de sistemas de información para la toma de decisiones donde los sujetos de estudio sean -en la medida de lo posible- los 72 municipios del estado de Sonora, se tornará una gran aportación que deberá ser tomada en cuenta por las administraciones municipales.

En México, no se han tomados los Sistemas de Información Geográfica para el soporte de decisiones en la Administración Pública, por lo cual, será un gran parteaguas contar con el prestigio del Instituto Sonorense de Administración Pública para detonar estudios en un área que no ha sido explorada o bien, no se ha implementado esta tecnología para apoyar a generar mejores resultados. Lo más parecido a esto que hemos detectado son estudios aplicados de sistemas de información geográfica en la planificación municipal española.

Referencias

- ¿Qué es un SIG? (2010, junio 7). SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. <https://langleruben.wordpress.com/%c2%bfque-es-un-sig/>
- ¿Qué es un sistema de soporte de decisiones espaciales? (s. f.). Recuperado 31 de marzo de 2021, de <https://www.netinbag.com/es/business/what-is-a-spatial-decision-support-system.html>
- Cárdenas Gracia, J. F. (2017). Del Estado absoluto al Estado neoliberal.
- Cerda, H. (1994). Cómo elaborar proyectos: Diseño, ejecución y evaluación de proyectos sociales y educativos.
- Guerrero, O. (1989). El estado y la administración pública en México: Una investigación sobre la actividad del estado mexicano en retrospectiva y prospectiva (1. ed). Instituto Nacional de Administración Pública.
- Guerrero, O. (2019). La ciencia de la administración y las ciencias sociales. En Principios de administración pública, colección INAP. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/12/5826/15.pdf>
- Hall, J. A., Ikenberry, G. J., & Albares Rey, J. (1993). El estado. Alianza.
- Lizarazo, C. J. L., & Díaz, H. P. (2006). Sistemas de apoyo a las decisiones: Génesis y evolución. Revista UIS Ingenierías, 5(1), 11-24.
- Mercado—La Administración Pública como ciencia una aproxi.pdf. (s. f.). Recuperado 31 de marzo de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/676/67681511.pdf>
- Molina, A. M., López, L. F., & Villegas, G. I. (2005). LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN LA PLANIFICACIÓN MUNICIPAL. Revista EIA, 4, 21-31.
- Moreno, H., & Guadalupe, M. (2005). El neoliberalismo y la conformación del Estado subsidiario. Política y cultura, 24, 121-150.
- Salkind, N. J., Escalona, R. L., & Valdés Salmerón, V. (1999). Métodos de investigación. Prentice-Hall.

Viabilidad económica para implementar secadores solares de café, en el municipio de Hueytamalco, Puebla.

M. Martínez Demetrio^{1*}, V. Millán Tinoco², J. León Báez³,

¹Departamento de Ciencias Básicas, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II SN, C.P. 73960 Teziutlán, Pue. [magdaleno.md@teziutlan.tecnm.mx](mailto:magdalen.md@teziutlan.tecnm.mx)

²División de Ingeniería en Gestión Empresarial, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II SN, C.P. 73960 Teziutlán, Pue. victor.mt@teziutlan.tecnm.mx

³División de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II SN, C.P. 73960 Teziutlán, Pue. jacquelin.lb@teziutlan.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

La industria del café en México, es de las principales actividades económicas que involucra dentro de todo su proceso familias completas. Desde la cosecha hasta la taza, la industria genera grandes beneficios económicos, pero con desigualdad. Uno de los principales problemas de los cafecultores, es que su producción la venden en cereza, debido a la escasa tecnología a la que tiene acceso para continuar y dar seguimiento a la cadena productiva. De los procesos faltantes el secado es uno de ellos, el cual demanda, tiempo, espacio y recursos económicos, por lo que, el objetivo de este trabajo es analizar la viabilidad económica para implementar secadores solares tipo invernadero en el municipio de Hueytamalco, Puebla, concluyendo que es una de las mejores opciones que pueden generar un impacto y mayor valor agregado al café del municipio con un VPN>0 y una TIR encontrada de 25%.

Palabras clave: *Café, producción, secadores, rentabilidad económica.*

Abstract

The coffee industry in Mexico is one of the main economic activities that involves complete families throughout its process. From harvest to cup of coffee, industry generates huge economic benefits with inequality. One of the main problems of coffee growers is that their production is sold as coffee cherry, due to the scarce technology that has access to continue and monitor the productive chain. One of the missing processes is drying, which demands time, space, and economic resources, so the objective of this research is to analyze the economic feasibility to implement solar dryers type greenhouse in Hueytamalco, Puebla, concluding that it is one of the best options that can generate an impact and greater added value to the coffee of the municipality with an NPV>0 and IRR of 25%.

Key words: *Coffee, production, solar coffee dryers, economic profitability.*

Introducción

El café es una de las actividades económicas más importantes en México, su producción emplea a más de 500 mil productores de 15 estados y 480 municipios [1]. Para el año 2021, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) informó que, de los principales estados se encuentra Veracruz con un 35%, seguido de Chiapas con 32% del total nacional y en tercer lugar Puebla con 23%. Cabe mencionar, que este fue uno de los mejores años para Veracruz, pues los años anteriores siempre estuvo por debajo de Chiapas en la segunda posición [2].

Con respecto al café orgánico, México es considerado como uno de los principales países productores de café orgánico del mundo, destinando 3.24% del total de la superficie cultivada de este producto para esta variedad, y exporta 28,000 toneladas, además de tener una gran diversidad de productores, incluyendo a hombres y mujeres caracterizados por pertenecer a comunidades indígenas en Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Puebla no es la excepción [1].

Para Puebla, en el año 2021, la producción del café ascendió a 77,313.42, producida por 54 municipios en todo el estado, logrando con ello, colocarse en tercer lugar nacional, donde los principales municipios productores son Hueytamalco con 16.2%, Cuetzalan de Progreso (15.2%), Jalpan (6.5%), Xicotepéc (6.3%) y Tlatlauquitepec (6.2%) [2]. Es importante resaltar que, al igual que en otros estados, en Puebla, la cosecha del café es la principal

actividad económica para un gran número de campesinos a pesar de la existencia de la crisis por la que atraviesa el cultivo [3].

Otra de las principales similitudes que tienen los municipios que producen café en Puebla y en los estados, es que la producción de la mayoría de los cafecultores solo se limita a la venta en café cereza, y los pocos productores que se dedican al secado de café, utilizan asoleaderos, sin embargo, esta técnica no garantiza la calidad del café y conlleva mucho tiempo llegar a secar el café hasta una humedad del 12% según lo dicta la NOM-149 [4].

El proceso de secado al aire es elemental y sencillo, se realiza exponiendo los granos de café húmedo directamente al sol, sin embargo, factores externos afectan que el grano tenga una alta calidad tal como el polvo y condiciones climatológicas, así como basura e insectos que atrae el aroma del grano en proceso de secado. Dicho proceso de secado se desarrolla en un lapso de nueve a doce días aproximadamente, lo que hace más lento que sea llevado a su venta. Frente a esta problemática, el objetivo de este estudio es analizar la viabilidad económica para implementar secadores solares tipo invernadero que permita un secado del grano de mayor calidad y con ello mejorar la cadena productiva e incrementar la venta de café pergamino en el municipio de Hueytamalco, Puebla.

Metodología

Para la llevar a cabo esta investigación, se realizó por diferentes etapas, la primer fue determinar un diagnóstico que permitiera identificar las características de producción de los productores de café y por ello, primero, se aplicó una encuesta a los productores para conocer su estado actual y al mismo tiempo la posible aceptación de implementar el secador, como un segundo momento, se calculó la inversión inicial y los ingresos que obtendrían los productores al implementar el secador, por último, se proyectó de tal forma que se pudieran calcular la tasa interna de retorno (TIR) así como el Valor Presente Neto (VPN) y poder determinar la viabilidad económica. Cabe mencionar que, por los diferentes aspectos este trabajo es de tipo cualitativo y cuantitativo.

Selección de muestra

Se eligió la fórmula de tamaño de muestra finita para definir la muestra a encuestar, ya que la población de prueba se conoce con exactitud.

$$n = \frac{NZ^2pq}{E^2(N-1)+Z^2pq} \quad [5].$$

Donde:

N = Población total.

Z = Distribución normalizada.

p = Proporción de aceptación deseada para el producto.

q = Proporción de rechazo.

E = Porcentaje deseado de error.

En cuanto a la realización del estudio de mercado, se utilizó una confiabilidad del 90 % y precisión del 10%, en el caso del número de productores fue información proporcionada por el beneficio de café al cual acuden los productores del municipio para su venta cereza, por lo que, los valores son los siguientes;

N = 3,292 productores del municipio de Hueytamalco, Puebla.

Z = Distribución normalizada. Si Z = 1.645 el porcentaje de confiabilidad es de 90%

p = 0.5

q = 0.5

E = 10%

Sustituyendo los valores se tiene:

$$n = \frac{(3292 * 1.645^2 * 0.5 * 0.5)}{.10^2 * (3292 - 1) + (1.645^2 * 0.5 * 0.5)}$$

n= 66.31= 67 Encuestas.

Instrumento y recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizaron las encuestas físicas, las cuales constan de 11 preguntas cerradas y abiertas y se enfocan a conocer algunas características de los productores en cuanto a la producción, al proceso de secado y cuál es la forma en que ellos lo llevan a cabo, si es que así fuera el caso, dicha recolección de datos fue aplicada de manera presencial a los productores en los beneficios de café dentro del municipio de Hueytamalco.

Se realizó una encuesta con preguntas cerradas y abiertas debido a que presentan algunas ventajas y desventajas cada una, por ejemplo, las preguntas cerradas son más fáciles de codificar y preparar para que se realice el análisis, pero la desventaja es que limita las diferentes opciones al encuestado por lo que en algunos casos no se describe la realidad de los entrevistados, en el caso de las preguntas abiertas su ventaja es que presentan información amplia en los temas que se desea saber, sin embargo se convierte desventaja por el manejo de información y agrupación de respuestas, por lo que implica mayor tiempo y esfuerzo para quien realiza la investigación[6].

Aplicación del instrumento

Se aplicaron 67 sondeos a diferentes productores cafetaleros de Hueytamalco en un periodo de una semana de manera presencial en horarios estratégicos en el beneficio, lugar donde se compra el café a los productores de esa zona. El horario seleccionado fue de las 4 p.m. en adelante ya que los productores llevan a vender la cereza del café a partir de dicho horario, las personas fueron encuestadas según iban llegando al beneficio, posteriormente a la venta y cobro de su café se fue aplicando la encuesta.

La preparación de los datos se llevó a cabo mediante la agrupación de los resultados de cada una de las preguntas realizadas conformando una base de datos, la cual consta de 67 instrumentos de investigación, cada una con 11 preguntas respectivamente.

Análisis de datos

Dentro de los resultados obtenidos se encontraron los siguientes:

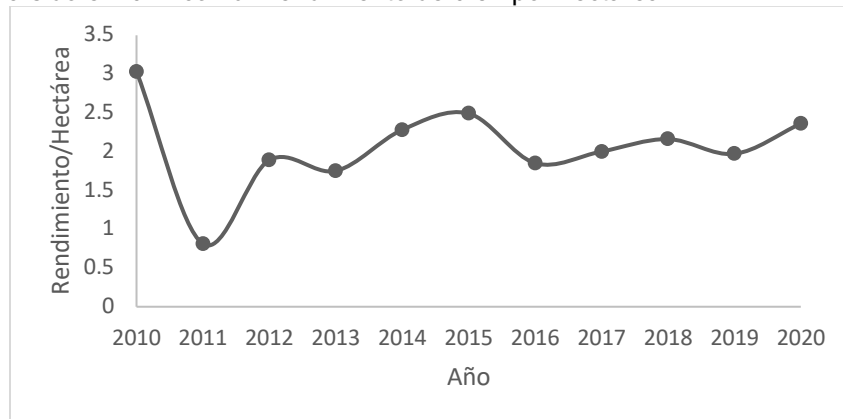
- El 42% de los productores del municipio tienen 2 hectáreas de café, un 18% una hectárea, seguido de 3 y 5 hectáreas con 12% y el resto del porcentaje se reparte en 6 y más de 6 hectáreas.
- La forma de venta del café de los productores de Hueytamalco es en cereza con un 91% del total de los productores, solo el 3% lo vende en pergamino, 3% lo vende tostado y molido y 3% lo vende tostado en grano.
- Dentro de toda la cadena productiva del café, el 39% de los productores consideran que la cosecha es la etapa que demanda mayor tiempo, seguido del devanado (37%), despulpado (9%) y secado (7%). Lo que se pudo notar es que, en la mayoría de los productores, no consideran el secado como una de las etapas más largas debido a que no la realizan, pues al cuestionar si los productores realizaban el secado, el 57% comentó no hacer la actividad y el 43% comentó que, pese a que sí lo realizan, solo es para el autoconsumo y no para la venta.
- El 48% de los productores vende el café en cereza debido a que consideran que el secado tiene altos costos y no les permite realizar esa actividad, el 42% comentó que, pese a que estaría interesado en realizar el secado, no tiene el espacio adecuado ni las herramientas o materiales y 10% de los productores dijo que no realiza el secado debido al tiempo que se requiere.
- De los pocos productores que realizan el secado del café ya sea para su autoconsumo o para la venta, el 51% realiza el tradicional, es decir, secado al sol directamente, el 37% comentó que secado mecánico y el 12%, comentó que en carros de madera.

- El tiempo adecuado asignado al secado del café es de 4 a 9 días, esto con base al 68% de los encuestados, de 10 a 12 días según 22% y más de 12 días respondió el 10%.
- Cuando se les cuestionó si conocían los beneficios de los secadores solares tipo invernadero, el 79% de los entrevistados afirmó que no sabía y solo el 21% admitió que sí reconocía los beneficios de este tipo de secadores.
- Para medir la aceptación, se cuestionó si estaban dispuestos a implementar un secador solar económico tipo invernadero que les permitirá llevar a cabo este proceso y con ello dar un valor agregado a su producto, a lo cual, el 85% comentó respondió afirmativamente y solo el 15% comentó que no.
- En el caso del precio, el 24% comentó estar dispuesto a pagar hasta \$20,000 por el secador solar, el 16% un precio de \$15,000, otro 16% un precio de \$10,000 y el resto menos de \$10,000.

Resultados y discusión

Considerando los resultados obtenidos del sondeo, una de las principales propuestas de este trabajo es que los productores puedan trabajar de manera colaborativa, que les permita adquirir tecnología y disminuir sus costos de procesamiento en el secado, esto por diversas razones; en el 2020 la gran mayoría (77.4 %) de la población se encontraba en condiciones de pobreza, la cual aumentó de un 72.9% que se tenía en el municipio en el 2015 y que después de 5 años aumentó 4.5% [7].

En este caso, el promedio de los encuestados comentó tener 2.9 hectáreas, y considerando que el rendimiento por cada hectárea del año 2020 es equivalente a 2.36 [8], significa que por cada hectárea producida en Hueytamalco, se obtiene 2.3 toneladas, entonces, la producción en promedio de cada productor es equivalente a 6.8 toneladas de café cereza. En la gráfica 1, se aprecia el rendimiento del año 2010-2020, por lo que, se observa la trayectoria del rendimiento mostrando que el mejor año del rendimiento ha sido el 2010, con un rendimiento de 3.03 y la más baja ha sido el 2011 con un rendimiento de 0.81 por hectárea.

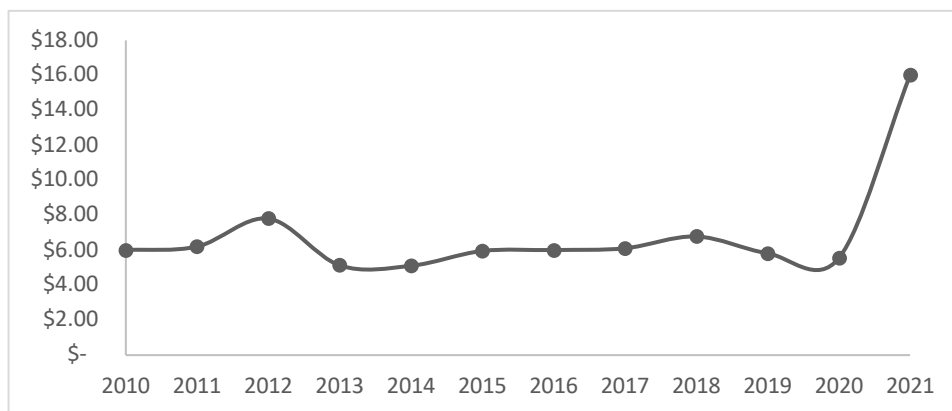


Gráfica 1. Rendimiento por hectárea de café. Elaboración propia adaptado de [8].

De este apartado se concluye que, por cada productor, se considera una producción promedio para el 2020 de 6.8 toneladas y es evidente que los ingresos dificultarán adquirir de manera individual el secador solar, por lo que se parte de la propuesta que se trabaje de manera grupal.

Considerando que existe una organización de 2 productores para el año 2020, la producción promedio anual sería de 13.6 toneladas de café cereza por procesar, y si se analizan los posibles ingresos esto permitiría considerar la adquisición del secador solar, de hecho, dentro de la encuesta aplicada a los productores del municipio, el 85% estaría dispuesto a adquirir el secador solar.

Con respecto a los precios del café, como se muestra en la gráfica número 2, han permanecido estables hasta el año 2020, sin embargo, a partir de la situación actual, desde el año 2021, se ha incrementado el precio por kilogramo en más del 200%, pasando del \$5.53/kg a \$16/kg, lo cual tuvo una gran repercusión dentro del mercado del café a nivel nacional e internacional, generando una situación especulativa de toda la cadena productiva.



Gráfica 2. Precio por kilogramo del café. Elaboración propia adaptado de [8].

Uno de los mejores años previo la situación actual, fue el año 2012 el cual el precio por kg de café cereza fue de \$7.8/kg, y en el caso y el peor de los años ha sido de \$5.10/kg en el año 2014.

Inversión inicial

Para la realización de la evaluación financiera se ha considerado entonces una inversión inicial de \$67,161.00 con una capacidad de secado de media tonelada de café cereza en 5 días, desglosando como se aprecia en la tabla 1.

Tabla 1. Inversión inicial [9].

Concepto	Cantidad	Unidad de medida	Precio Unitario	Total de Inversión
Terreno	60	Metros cuadrados	\$ 500.00	\$ 30,000.00
Invernadero	1	Unidad	\$ 24,161.00	\$ 24,161.00
Zarandas	20	Unidad	\$ 500.00	\$ 10,000.00
Instalación de invernadero	6	Días	\$ 500.00	\$ 3,000.00
Total				\$ 67,161.00

Bajo el supuesto que son dos productores, con un total de 13.6 toneladas de café cereza, implicaría entonces un total de 68 días para ser secado en su totalidad y por lo que se requerirían al menos tres personas para realizar este trabajo, por lo que la mano de obra quedaría como la tabla número 2.

Tabla 2. Mano de obra [10].

Plaza	Cantidad	Sueldo diario	Sueldo tiempo de Secado 68 días
Jornalero agrícola 1	1	\$160.19	\$10,892.92
Jornalero agrícola 2	1	\$160.19	\$10,892.92
Jornalero agrícola 3	1	\$160.19	\$10,892.92
Total			\$32,678.76

Para el caso del mantenimiento se requiere al menos dos días adicionales uno antes del inicio del proceso de secado y uno al final, por lo que en el caso del mantenimiento al menos será necesario un desembolso adicional de \$320.38

Como bien se conoce, es importante comentar que existe una pérdida del valor de los activos adquiridos cada año, conocido como depreciación, en este caso y como se muestra en la siguiente tabla (3), el valor anual por el secador tipo invernadero sería de \$6040.25.

Tabla 3. Depreciación [11].

Concepto	Total de Inversión	%	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Invernadero	\$24,161.00	25%	\$6,040.25	\$6,040.25	\$6,040.25	\$6,040.25	\$6,040.25
Zarandas	\$10,000.00	25%	\$ 2,500.00	\$ 2,500.00	\$ 2,500.00	\$2,500.00	\$ 2,500.00
Total			\$8,540.25	\$8,540.25	\$8,540.25	\$8,540.25	\$8,540.25

Para el cálculo del proceso de secado es necesario describir algunos datos que se aprecian en la tabla número 6. Actualmente, el precio de un quintal de café pergamino tiene un valor de \$5,000 Tabla y este es equivalente a 250 kg de café cereza, por lo que para un productor del municipio de Hueytamalco, que produce 6.8 toneladas de café cereza estaría produciendo en promedio 27.2 quintales de café pergamino, sin embargo, al no contar con la tecnología, actualmente y considerando los precios del mercado tiene como ingreso anual \$108,800 cuando podría tener un ingreso de \$136,000 (considerando un aumento de 25% si el productor realizara el proceso de secado). Si se considera los dos productores del ejemplo manejado en este trabajo de recibir \$217,600, podrían recibir \$272,000.

Tabla 6 Equivalencias y precios del mercado [12].

Cantidad	Equivalencia	Cantidad	Precio de Mercado
Quintal de café en pergamino	57.5 kg	Quintal de café en pergamino	\$5,000
Quintal de café en pergamino	250 kg de café cereza.	Un kg en café pergamino.	\$87.00
		Un kg en café cereza	\$16.00

Proyección de ventas

Para el cálculo de la venta en los próximos años, se realizó una proyección de producción de café cereza para el municipio de Hueytamalco considerando los siguientes datos:

Tabla 7. Producción de café cereza en Hueytamalco 2010-2020. Elaboración propia adaptado de [8].

Año	Sembrada	Cosechada	Volumen producción/ton
2010	5600.00	4800.00	14544.00
2011	5890.00	5890.00	4760.00
2012	5890.00	5890.00	11126.21
2013	5890.00	5890.00	10307.50
2014	5890.00	5890.00	13435.70
2015	5891.00	5891.00	14668.59
2016	5890.50	5890.50	10897.43
2017	5346.00	4800.00	9600.00
2018	4800.00	4790.00	10340.00

2019	4711.00	4709.00	9276.73
2020	4710.00	4705.00	11103.80



Gráfica 3. Tendencia de producción de café cereza en Hueytamalco Puebla. Elaboración propia adaptado de [8].

Como se observa, la línea de tendencia tiene una ecuación de $Y = -49.509 + 110,675$, lo que significa que por su histórico tendrá una caída en los próximos años en producción, esto es importante mencionar debido a que a la crisis mundial actual y los precios elevados podría ocasionar que muchos productores decidan regresar a la producción del café y no cambiarlo por otros productos como el plátano.

Los resultados, entonces, de la producción para dos productores que se utilizan como ejemplo dentro de este trabajo la proyección de producción quedarían como se observa en la tabla número 8:

Tabla 8. Proyección de la producción. Elaboración propia adaptado de [8].

Año	Superficie sembrada por dos productores	Rendimiento	Producción de toneladas
2010	5.8	3.03	17.574
2011	5.8	0.81	4.698
2012	5.8	1.89	10.962
2013	5.8	1.75	10.15
2014	5.8	2.28	13.224
2015	5.8	2.49	14.442
2016	5.8	1.85	10.73
2017	5.8	2	11.6
2018	5.8	2.16	12.528
2019	5.8	1.97	11.426
2020	5.8	2.36	13.688
2021	5.8	2.349	13.6242

Estimaciones

2022	5.8	2.3687	13.73846	Estimaciones
2023	5.8	2.3884	13.85272	Estimaciones
2024	5.8	2.4081	13.96698	Estimaciones
2025	5.8	2.4278	14.08124	Estimaciones

Considerando que el precio actual del kilogramo de café cereza es de \$16.00 y la inflación históricamente se ha incrementado en los últimos 10 años 4% se tendría entonces que el valor de la producción de café cereza para dos productores sería como se muestra en la tabla número 9.

Tabla 9. Producción de café cereza en quintales de pergamino. [13].

Año	Superficie sembrada por dos productores	Rendimiento	Producción de toneladas	Precio por kg	Precio por tonelada	Valor de la producción	Producción de café cereza en quintales de pergamino
2021	5.8	2.349	13.6242	\$ 16.00	\$ 16,000	\$217,987	54.50
2022	5.8	2.3687	13.73846	\$ 16.64	\$ 16,640	\$ 228,607	54.95
2023	5.8	2.3884	13.85272	\$ 17.31	\$ 17,305.6	\$239,729.63	55.41
2024	5.8	2.4081	13.96698	\$ 18.00	\$17,997.82	\$251,375.25	55.87
2025	5.8	2.4278	14.08124	\$ 18.72	\$18,717.74	\$263,568.95	56.32

Por último, para la realización de los futuros ingresos de dos productores en pergamino, se aprecia en la siguiente tabla (Tabla 10).

Tabla 10. Estimaciones de flujo de efectivo [14].

Concepto/Año	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Entradas					
Ventas	\$ 54,497	\$ 57,152	\$ 59,932	\$ 62,844	\$ 65,892
Total, entradas	\$ 54,497	\$ 57,152	\$ 59,932	\$ 62,844	\$ 65,892
Salidas					
Gastos de Operación	\$ 39,429	\$ 42,697	\$ 46,291	\$ 50,245	\$ 54,595
ISR	\$ 4,520	\$ 4,337	\$ 4,092	\$ 3,780	\$ 3,389
Total, Salidas	\$ 43,949	\$ 47,033	\$ 50,384	\$ 54,025	\$ 57,984
Resultado	\$ 10,548	\$ 10,119	\$ 9,549	\$ 8,819	\$ 7,908
Saldo Inicial (DE CAJA)	\$ -	\$ 10,548	\$ 20,666	\$ 30,215	\$ 39,034
Flujo Neto de Efectivo	\$ 10,548	\$ 20,666	\$ 30,215	\$ 39,034	\$ 46,942

4.5.4 Tasa Interna de Retorno y Valor Presente Neto

El cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN) son de los indicadores más importantes para la evaluación de un proyecto, en el caso de la TIR, mide la rentabilidad del proyecto y se espera que sea mayor a la tasa con la que se evalúa, es decir, para que un proyecto sea aceptable debe ser mayor a la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento, de lo contrario deberá rechazarse. En el caso del Valor presente Neto es un indicador que indica si el proyecto recuperará la inversión a través del tiempo y en caso de que el VPN sea positivo, entonces el proyecto será aceptado, por lo que en este sentido se esperan dos puntos importantes [5] :

- **TIR>TMAR**
- **VPN>0**

El flujo de caja es una de las herramientas necesarias para el cálculo de los indicadores, por lo que queda de la siguiente manera, se consideraron los flujos calculados en el apartado anterior, se utilizó una TMAR del 20% que incluye una TIE del 5.8, una inflación del 4% y prácticamente un riesgo del 10.2%.

Tabla 11. Tasa interna de retorno [15].

	Tasa descuento	20.00%	VPN	TIR	
Inv. inicial	-\$	67,161.00	\$	11,155.221	25%
Año 1	\$	10,547.63			
Año 2	\$	20,666.38			
Año 3	\$	30,215.15			
Año 4	\$	39,034.02			
Año 5	\$	46,942.11			

Los resultados entonces consideran esta evaluación promete que es rentable al tener un VPN mayor que cero y una TIR de 25%.

Trabajo a futuro

Es claro que, este trabajo está enfocado directamente al análisis económico, sin embargo, se considera necesario que en próximas investigaciones se realicen investigaciones para verificar lo que se ha propuesto en este trabajo, así como realizar los cambios pertinentes en función de los cambios y realidades que surjan dentro de los productores del municipio. Por otro lado, es necesario realizar y evaluar la parte técnica del secador, es decir, conocimiento sobre su uso, instalación, mantenimiento, etc.

Por otro lado, es necesario también, realizar planes de negocios para asociaciones de productores que surjan gracias a la compra del secador tipo invernadero, así como propuestas de capacitación para los productores enfocadas a la comercialización del café en pergamino.

Conclusiones

Los secadores tipo invernadero sustentables cada vez están tomando más fuerza, por su gran mecanismo y menor complejidad, haciéndolos aptos para el proceso de secado de café, siempre y cuando se cumpla con las características climáticas como lo es el municipio revisado en este trabajo. Para finalizar esta investigación, se determina que gracias a los estudios en el municipio de Hueytamalco, se concluye que pese a que existen diversos factores que limitan este proceso a los pequeños productores tales como: la falta de espacio, costos elevados y la falta de conocimiento, la propuesta para implementar un secador solar tipo invernadero para el secado del café, tuvo una aceptación de parte de los pequeños productores con un 85%, considerando un costo neto del secador de 24,161.00, y una inversión adicional de \$43,000 para mantenimiento, instalaciones, terreno, mano de obra, etc., lo que en total suma una inversión total inicial de \$67,161.00. Con la aceptación de los productores implicaría, que la venta de café cereza actualmente con un valor del 91% disminuya, y se incremente la venta de café pergamino que hoy representa un escaso (3%).

Referencias

- [1] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, (SADER). (2018). *México, onceavo productor mundial de café*. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/mexico-onceavo-productor-mundial-de-cafe?idiom=es>
- [2] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (SIAP). (2021). Avance de Siembras y Cosechas Resumen por estado. Disponible en: infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do
- [3] Juárez Sánchez, José Pedro, & Cardeña Basilio, Irene, & Ramírez-Valverde, Benito, & Cruz León, Artemio, & Huerta de la Peña, Arturo (2019). Campesinos y sistema de producción de café ante el problema de la roya en el municipio de Hueytamalco, Puebla, México.. *Espacio Abierto*, 28(2),57-70.[fecha de Consulta 20 de Julio de 2022]. ISSN: 1315-0006. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12262983002> .
- [4] Diario Oficial de la Federación (2002). *Café Veracruz-especificaciones y métodos de prueba*. NOM-149-SCFI-2001. <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/scfi/scfi149-02.pdf>

- [5] Baca Urbina, G. (2022). Evaluación de Proyectos. 9ª Edición. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- [6] Hernandez-Sampieri, R. y Mendoza, C.P. (2018). Metodología de la investigación: Rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C. V.
- [7] Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2020). *Medición de la pobreza, Estados Unidos Mexicanos, 2010-2020*. Disponible en : <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Pobreza-municipio-2010-2020.aspx>
- [8] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (SIAP). (2020). Cierre de Producción Agrícola Municipal 2010-2020. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- [9] Fuente propia
- [10] Fuente propia
- [11] Fuente propia
- [12] Fuente propia
- [13] Fuente propia
- [14] Fuente propia
- [15] Fuente propia

Viabilidad económica usando plástico reciclado para elaborar esquineros utilizados en industria maquiladora de limón persa

A.D. Hernández Vargas 1*

¹Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán Fracción I y II, S/N, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán, Puebla.
México

**alma.hv@teziutlan.tecnm.mx*

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar la viabilidad económica y financiera de un producto nuevo en una empresa de reciclado de plástico en el Municipio de Teziutlán, Puebla, esta propuesta tiene como objetivo sustituir el uso de esquineros de cartón por los de plástico, utilizado en el embalaje del producto final. Se realizó un estudio mercadológico y un análisis financiero, con el propósito de determinar la viabilidad de la idea negocios por medio de la evaluación financiera. La metodología utilizada consistió en el análisis de la demanda potencialmente insatisfecha aplicando encuestas digitales a la industria de exportación de limón persa, posteriormente, se realizó la fase económica, se centró en la inversión inicial, los ingresos y los egresos reflejados en estados financieros, finalmente, la evaluación económica mostró la viabilidad financiera que se sustentó aplicando indicadores financieros de evaluación. Los resultados obtenidos arrojan un periodo de recuperación de 27 meses.

Palabras clave: *viabilidad económica, esquineros de plástico, embalaje*

Abstract

The objective of this work was to determine the economic and financial viability of a new product in a plastic recycling company in the Municipality of Teziutlán, Puebla, this proposal aims to replace the use of cardboard corners with plastic, used in the packaging of the final product. A market study and a financial analysis were carried out to determine the viability of the business idea through the financial evaluation. The methodology used consisted of the analysis of the potentially unsatisfied demand applying digital surveys to the Persian lemon export industry, later the economic phase was carried out, focused on the initial investment, income and expenses reflected in financial statements, finally the economic evaluation showed the financial viability that was sustained by applying financial evaluation indicators. The results obtained show a recovery period of 27 months.

Keywords: *economic viability, plastic corners, packaging*

Introducción

Se observó que los exportadores de limón persa de la región de Martínez de la Torre, Veracruz, usan esquineros para embalar la carga y enviarla a su destino final, usando esquineros de cartón laminado para ello, la problemática surge al momento que debe refrigerarse el producto, ya que con la humedad disminuía la consistencia, haciendo que los pallets perdieran parte de su contorno y estabilidad, lo que les ocasionaba dificultades con sus clientes. Mediante la propuesta de esquineros de plásticos, se planteó la posibilidad de considerar la viabilidad de este nuevo producto que aporta consistencia y firmeza al paletizado de las cajas que se transportan en contenedores, adicionalmente presenta una fuente de recursos para la empresa Agro Procesos Reciclables SPR de RI. En la figura 1 se plasma los beneficios de este material mediante un análisis FODA:

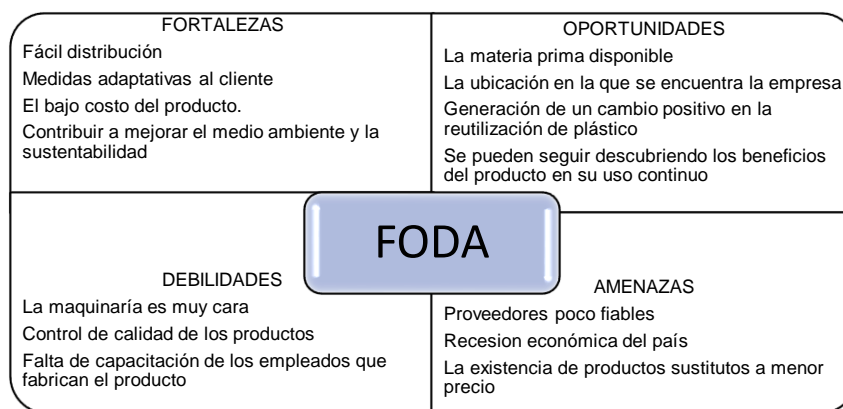


Figura 1. Análisis FODA. Uso de plástico para fabricación de esquineros. Fuente elaboración propia

Examinando la información presentada en el análisis FODA, se puede plantear el objetivo de la investigación, permitiendo verificar la viabilidad del uso del plástico en la sustitución de cartón para la fabricación de esquineros, en la ciudad de Teziutlán, Puebla, debido a que los principales competidores se encuentran en Michoacán, Monterrey y Guadalajara, y la zona que se pretende satisfacer en la región limonera de Martínez de la Torre, Veracruz, que se encuentra a 50 kilómetros de distancia de donde se pretende fabricar los esquineros de plástico.

Metodología

En este trabajo se desarrolla la investigación descriptiva, a decir de Hernández, Fernández, Baptista [1] busca enumerar las propiedades, características y perfiles de personas, grupos, comunidades o cualquier fenómeno sometido a análisis, se tomará el enfoque cualitativo, ya que es de naturaleza exploratoria y no estructurada, donde Benassini [2] comenta que los estudios cualitativos se realizan para explorar en forma exhaustiva conceptos de nuevos productos o servicios, por lo general buscan resultados veraces de manera estratégica, mismos que concluyen en forma estadística. Para realizar el análisis financiero se utiliza lo publicado por Ramírez [3] donde considera que el ordenamiento y sistematización de la información monetaria sirven de base para tener una evaluación financiera aceptable que permita la toma de decisiones a corto plazo, por último en base a Baca [4] y a Gitman [5] se analizará la viabilidad económica del proyecto mediante herramientas financieras que permitan mostrar su aceptación.

Identificación de la problemática.

Para iniciar este trabajo, se procedió a desarrollar un diagnóstico de las empresas emparadoras de la región de Martínez de la Torre, Veracruz; para definir claramente el objetivo de esta investigación, se consultó el Consejo Estatal Citrícola A.C., teniendo acceso a 27 empresas de mediana y grande capacidad, entre las cuales destacan, las que se muestran en la figura 2.



Figura 2. Empresas emparadoras de limón persa. Tomado adaptado [6]

En segundo lugar, se procedió a realizar un estudio de mercado, recolectando datos, trabajando en campo y escritorio, creando un formulario en Google Forms, considerando un Focus Group de 4 personas por unidad pertenecientes al área de producción, distribución y almacenaje, dando como resultado 162 personas que contestaron dicho instrumento.

La encuesta consistió en 14 preguntas tanto descriptivas como analíticas, cuya finalidad es conocer a fondo las necesidades que se presentan durante el embalaje de su producto final, las preguntas fueron de tipo dicotómicas para conocer qué individuos optarían por la adquisición de los esquineros, de uso opción múltiple para conocer cómo se inclinaría la población, así como preguntas de orden y clasificación para saber sus preferencias por productos similares.

El trabajo de escritorio consiste en el análisis y procesamiento de los resultados obtenidos en las encuestas para conocer si es potencialmente posible su comercialización y mercado meta.

El tercer paso fue el desarrollo del análisis económico de la puesta en marcha la fabricación de los esquineros de plástico, considerando el presupuesto de inversión, los costos de producción, para llegar a los estados financieros proforma.

El cuarto paso consistió en el desarrollo de la viabilidad económica utilizando los indicadores financieros, periodo de recuperación, tasa interna de retorno y valor presente neto.

Planteamiento de soluciones.

En esta etapa se planteó la segmentación de mercado, con la recolección de datos, con el Focus Group con el personal de producción, distribución y almacenaje pertenecientes a las empacadoras de limón, considerando que son ellos los que experimentan las complicaciones que implica el embalaje. Los cuestionamientos están en función de la profundidad de la entrevista, las cuales se estructuran de la siguiente manera:

1. Preguntas no estructuradas o abiertas (perfil)
2. Preguntas del tema de investigación (propósito)
3. Preguntas de cierre (clientes posibles)

Muestra

TARGET (Empresas exportadoras de limón persa)

Colaboradores de las empresas de estudio que conocen de primera mano las dificultades del uso de esquineros de cartón laminado para la elaboración de embalaje en los pallets.

Tabla1. Resultado de la encuesta electrónica

Pregunta	Respuesta	Frecuencia
1. ¿Realiza actividades dentro de una empresa exportadora de cítricos?	Si	98
	No	2
2. ¿Se encuentra en el área de empaque?	Sí	98
	No	2
3. ¿Tiene experiencia en el embalaje del embarque?	Sí	90
	No	10
Preguntas no estructuradas (Perfil)		
4. ¿Utiliza material de embalaje?	Primario	10
	Secundario	35
	Terciario	55
5. ¿Qué tipo de embalaje emplea?	Cartón	80
	Plástico	18
	Madera	2
6. ¿Con qué frecuencia utiliza el embalaje?	Todos los días	22
	Cada tercer día	65
	Cada semana	13
7. ¿Debido al uso que se le da al embalaje como considera la resistencia del material que utiliza?	Poco resistente	16
	Medianamente resistente	73
	Muy resistente	11
8. ¿El producto que usa es resistente a temperaturas congelantes?	No	80
	Si	20
9. ¿El producto que usa genera hongos?	No	30
	Sí	70

10. ¿El producto que utiliza conserva sus propiedades de dureza y flexibilidad cuando llega a su destino final?	No Si A veces	25 23 52
Preguntas del tema de investigación (propósito)		
11. Si pudiera emplear un material distinto, ¿lo utilizaría?	Si No	89 11
12. ¿El plástico lo utilizaría como remplazo del cartón?	Si No	92 8
13. ¿Por qué utilizaría el plástico?	Resistencia Fácil manejo Funcionalidad	62 23 15
14. ¿Cómo compara el precio con el material usado actualmente?	Precio más alto que el actual Precio menor al actual Iguales condiciones	27 62 11
Preguntas de cierre (clientes potenciales)		

Fuente propia

Resultados y discusión

El instrumento utilizado en la técnica de encuesta electrónica permitió conocer la postura de los miembros de las empresas empacadoras, la ventaja de este medio radica en que los encuestados sólo pueden elegir una respuesta a la vez y no pueden dejar de responder a ninguna de ellas.

Los resultados mostraron que las 162 personas que representan el 100% de la población. En el ítem 3, están familiarizados con el uso de los embalajes, conocen a fondo la problemática en cuanto el uso de los esquineros de cartón. (véase tabla 2)

Tabla 2. Ítem 3. Experiencia en el área de embarque

Número de encuestados	Experiencia en el embalaje del embarque	Porcentaje	Encuestados
162	Si	90	146
162	No	10	16

Fuente propia. Con datos de la encuesta electrónica

En el ítem 5, se puede apreciar que la mayoría de las empresas encuestadas utilizan cartón para realizar el pallet en la que transportarán el producto a su destino final, ya que por pláticas con los encuestados compran todo el material en la misma empresa que les vende las cajas de cartón que utilizan y si requieren pedir esquinero de plástico los surten con un mínimo 50,000 piezas, lo que les provoca una inversión adicional, puesto que los principales proveedores se encuentran en Guadalajara, Michoacán y Monterrey. (Véase tabla 3)

Tabla 3. Ítem 5. Tipo de embalaje empleado

Número de encuestados	Tipo de embalaje empleado	Porcentaje	Encuestados
162	Cartón	70	113
162	Plástico	28	45
162	Madera	2	4

Fuente propia. Con datos de la encuesta electrónica

Al realizar el análisis del ítem 10, nos proporciona los datos de una población insatisfecha, al considerar la incertidumbre de que los embarques finales lleguen adecuadamente a su destino. Ver tabla 4.

Tabla 4. Ítem 10. Propiedades de dureza y flexibilidad

Número de encuestados	El producto que utiliza conserva sus propiedades de dureza y flexibilidad	Porcentaje	Encuestados
162	Si	25	41
162	No	23	37
162	A veces	52	84

Fuente propia. Con datos de la encuesta electrónica

Al analizar las respuestas de nuestros posibles clientes potenciales, existe una apertura en el uso de esquineros de plástico, ya que algunas empacadoras ya los están utilizando, como se observa en la pregunta 11, 12, 13 y 14, considerando su aceptación, un paso importante para poder fabricarlos en forma masiva para ofrecer este nuevo producto al consumidor, como se observa en la tabla 5, de igual manera su uso representa una ventaja competitiva en cuanto a la estabilidad del embarque (ver tabla 6)

Tabla 5. Ítem 12. Sustituir el plástico por el cartón

Número de encuestados	Utilizaría el plástico en sustitución del cartón	Porcentaje	Encuestados
162	Si	92	149
162	No	8	13

Fuente propia. Con datos de la encuesta electrónica

Tabla 6. Ítem 13. Utilización de plástico

Número de encuestados	El producto que utiliza conserva sus propiedades de dureza y flexibilidad	Porcentaje	Encuestados
162	Resistencia	62	100
162	Fácil Manejo	23	37
162	Funcionalidad	15	25

Fuente propia. Con datos de la encuesta electrónica

Finalmente, en la encuesta se pudo detectar que el precio que se sugiere es menor al actualmente utilizado, considerando que la puesta en marcha de los esquineros de plástico es viable en esta zona, ya que los principales competidores [7] [8] [9] [10] se encuentran fuera de esta región de Martínez de la Torre, Veracruz. (ver tabla 7)

Tabla 7. Ítem 14. Precio del material usado actualmente

Número de encuestados	Comparación del precio del material	Porcentaje	Encuestados
162	Precio más alto que el actual	27	44
162	Precio menor al actual	62	100
162	Iguals condiciones	11	18

Fuente propia. Con datos de la encuesta electrónica

Análisis financiero

De acuerdo con la propuesta de Toro [10] el análisis económico consiste en expresar, en términos monetarios, los cálculos monetarios que sirven como base para la evaluación económica. Existiendo una secuencia sistemática que permite analizar los pasos en forma ordenada.

La industria Agro Procesos Reciclables SPR RI de CV, al dedicarse a la fabricación de artículos de plásticos, encontró un área de oportunidad en los esquineros de plástico, por lo que realizó adaptaciones a su maquinaria. Considerando la inversión inicial como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Presupuesto de inversión

Adaptaciones a una máquina de inyección para la fabricación de esquineros de plástico			
Ítem	Descripción	Costo	Total
2	Tolva de alimentación y dosificación	6,000.00	12,000.00
2	Barril de bandas calefactoras	7,000.00	14,000.00
2	Boquillas	4,000.00	8,000.00
2	Tinas de enfriamiento	15,000.00	30,000.00
2	Tabla de Corte	5,000.00	10,000.00
2	Poleas y catarinas	12,000.00	24,000.00
	Total		98,000.00

Fuente propia

De acuerdo con estas adaptaciones a la máquina y realizando los ensambles y adecuaciones pertinentes, se realizaron pruebas de producción, las cuales arrojaron los resultados que se presentan a continuación, ver tabla 9

Tabla 9. Producción diaria de esquineros de plástico por máquina

# Máquina	Tiempo de proceso, esquinero medida 2 metros (en segundos)	Por hora	Producción por hora	Producción diaria
A	0.43	60	139.53	1,116.28
B	0.36	60	166.67	1,333.33
			TOTAL	2,449.61

Fuente propia

Costos de producción

Materia prima

Los requerimientos necesarios para la elaboración de los esquineros de plástico se presentan a continuación, ver tabla 10.

Tabla 10. Materia prima

Materiales	Costo unitario	A utilizar	Total
Polietileno soplado	11.00	0.60	6.60
Polietileno de inyección	13.00	0.40	5.20
Merma	12.00	0.03	0.36
Total, materia prima utilizada			12.16

Fuente propia

Mano de Obra

Los cálculos fueron elaborados con base en los sueldos presentados por la Comisión Nacional de los Salarios Mínimos, vigentes a partir del 01 de diciembre 2021, se presenta en la tabla 11

Tabla 11. Mano de obra

Puesto	Cantidad	Sueldo	Diario
Operario máquina	2	300.00	600.00
Operario Piso	2	280.00	560.00
Total			1,160.00

Fuente propia

Costos indirectos de fabricación

Los costos indirectos utilizados en la fabricación de los esquineros de plástico se exponen a continuación en la tabla 12.

Tabla 12. Costos indirectos de fabricación

Concepto	Consumo	Costo	Total
Gas	102 kilos	12.00	1,224.00
Energía eléctrica	183 kW	3.00	549.00
Fletes Martínez	1	1,300.00	1,300.00
			3,073.00

Fuente propia

Gastos generales

La empresa considera los siguientes gastos fijos, los cuales se enuncian en la tabla 13.

Tabla 13. Gastos generales

Concepto	Total
Mantenimiento	3,100.00
Sueldos administrativos	2,200.00
Total	5,300.00

Fuente propia

Punto de equilibrio

El análisis del punto de equilibrio es una técnica útil para estudiar las relaciones entre los costos fijos, los costos variables y los beneficios [12]. El punto de equilibrio es el nivel de producción en el que los beneficios por ventas son exactamente iguales a los costos fijos y variables. El cálculo se presenta a continuación en la tabla 14.

Tabla 14. Costos fijos y variables

Costos variables	Importe	costos fijos	importe	precio de venta por metro lineal
Materia prima	2.69	Mantenimiento	3,100.00	6.01
Mano de obra	0.32	Sueldos generales	2,200.00	
Costos indirectos de fabricación	0.85		-	
Total	3.85		5,300.00	

Fuente propia

Punto de Equilibrio	$\frac{\text{costos fijos totales}}{\text{Precio- costos variables unitarios}}$	$\frac{5,300.00}{2.16}$	2,455.82	unidades
---------------------	---	-------------------------	----------	----------

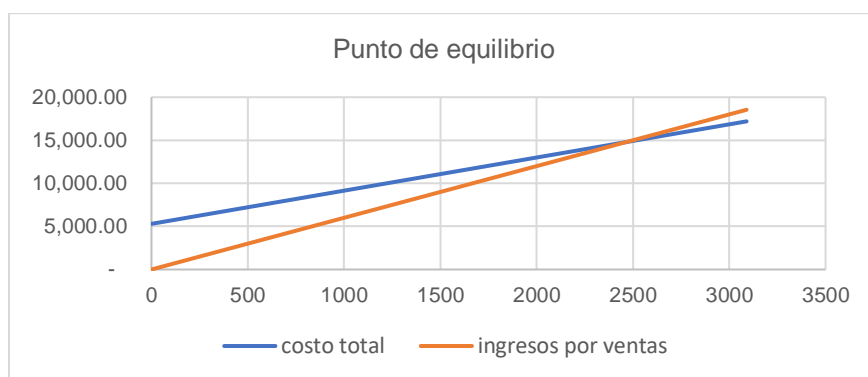


Figura 3. Punto de equilibrio

Como ya se conoce el punto de equilibrio, es necesario realizar el presupuesto maestro, para obtener el Estado de resultados presupuestado. Ver tabla 15

Tabla 15 Estado de Resultados Presupuestado

Estado de resultados presupuestado ejercicio 2021	
Ventas	187,512.00
Costo de Ventas	76,043.46
Utilidad bruta	111,468.54
gastos de operación	63,600.00
utilidad de la operación	47,868.54
impuestos	19,147.42
utilidad neta	28,721.12

Fuente propia

Viabilidad económica

Basándose en los resultados calculados, se observa que de acuerdo a los datos del ejercicio 2021, en una proyección de 5 años se generarán las siguientes utilidades, ver tabla 16

Tabla 16. Estado de resultados proforma

	Estados de Resultados Proforma					
	0 2021	1 2022	2 2023	3 2024	4 2025	5 2026
Ventas	187,512.00	243,615.59	316,505.38	411,203.78	534,235.96	694,079.35
Costo de Ventas	76,043.46	121,807.80	174,077.96	226,162.08	293,829.78	381,743.64
Utilidad Bruta	111,468.54	121,807.80	142,427.42	185,041.70	240,406.18	312,335.71
Gastos de operación	53,800.00	58,448.90	76,671.34	100,345.95	131,103.99	171,064.84
Gastos por depreciación	9,800.00	9,800.00	9,800.00	9,800.00	9,800.00	9,800.00
Utilidad del ejercicio	47,868.54	53,558.90	55,956.08	74,895.76	99,502.19	131,470.87
Impuestos	19,147.42	16,067.67	16,786.82	22,468.73	29,850.66	39,441.26
Utilidad neta	28,721.12	37,491.23	39,169.25	52,427.03	69,651.53	92,029.61

Fuente propia

Tasa interna de retorno (TIR) y Valor Presente Neto

Al analizar los resultados obtenidos y con base en los flujos de efectivo operativo, (ver tabla 17), obteniendo una tasa de retorno del 43%, y un valor presente de \$41,927.00, se calculó un valor de recuperación de 27 meses. Considerando que la tasa mínima de aceptación de rendimiento de los accionistas es del 23%, por lo cual el proyecto de adaptación, implementación y puesta en marcha de la fabricación de esquineros de plástico va a contribuir de manera positiva en las operaciones de la empresa.

Tabla 17. Flujos de efectivo operativo e inversión inicial

Inversión inicial	2022	2023	2024	2025	2026
-					
116,498.32	43,758.90	46,156.08	65,095.76	89,702.19	121,670.87

Fuente propia

Considerando que es factible la comercialización de los esquineros de plástico, se procedió a la puesta en marcha de este nuevo producto, con las adaptaciones a la maquinaria ya existente, que se muestra a continuación en figura 4.



Figura 4. Maquinaria empleada para la fabricación de esquineros de plástico

El producto final en presentación de 20 piezas, atada con rafia en dimensiones preferentes del cliente y listo para comercializarse, se muestra en la figura 5. En la tabla 18 se presenta la ficha técnica del producto.



Figura 5. Esquineros de plástico. Diversas medidas

Tabla 18. Ficha técnica del producto

Especificaciones del producto	<ul style="list-style-type: none"> Material: Polietileno mezclado de alta y baja densidad, reprocesado, lavado con hipoclorito de sodio y centrifugado para garantizar su inocuidad en la utilización y traspotación de material alimenticio. Color: Negro LDPE F30.00 G1X MY49
Especificaciones dimensionales	<p>Ala: 1.9/16 pulgadas 5% +/- Espesor: 1/8 5% +/- Acabado físico: no liso Longitud: la que el cliente requiera Humedad: 0°</p>
Otras bondades:	<p>100% ecológico Reduce desechos plásticos Nuevamente reciclable</p>

Presentación:	Atados de 20 Unidades, mediante Rafia de polietileno
Recomendaciones:	Almacenar en lugar seco, sobre tarimas, bajo techo
Uso:	Para protección de las esquinas de las cajas en el paletizado y transporte de productos

Fuente propia

Trabajo a futuro

Acudir a las empacadoras que no se han considerado en Región de Martínez de la Torre, Veracruz, con muestras, presupuestos y ficha técnica del producto, para que conozcan el material que se ofrece. Así también en las regiones aledañas para tener una expansión más amplia.

Conclusiones

La propuesta de introducir el esquinero de plástico en lugar del cartón, presenta una viabilidad comercial y financiera aceptable de acuerdo con lo calculado en el análisis financiero, que representan el periodo de recuperación, el valor presente neto y tasa interna de retorno, así mismo, representa un ingreso extra para la empresa Agro Procesos Reciclables SPR de RL, considerando una tasa de rendimiento del 43% y un retorno de 27 meses.

Referencias

- [1] R. H. a. C. P. Mendoza, Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, SA DE CV, 2018.
- [2] M. Benassini, Introducción a la investigación de mercados. Enfoque para América Latica, España: McGRAW-HILL INTERAMERICAN DE ESPAÑA S.L. , 2020.
- [3] D. Ramírez, Contabilidad Admisnitrativa. Novena Edición, México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, SA DE CV, 2018.
- [4] G. Baca, Evaluación de costes de proyectos, España: McgRAW-HILL/INTERAMERICANA ESPAÑA S.L., 2022.
- [5] C. Z. L. Gitman, Principios de Administración Financiera. Decimocuarta edición, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2017.
- [6] A. Empacadoras Asociadas COPELP, «[HTTP://www.copelp.org.mx](http://www.copelp.org.mx),» 29 07 2022. [En línea]. Available: <http://www.copelp.org.mx/pricing.php>. [Último acceso: 07 07 2022].
- [7] P. e. d. plástico, «<https://paak.mx/>,» PAAK esquineros de plástico , [En línea]. Available: <https://paak.mx/>. [Último acceso: 2022 05 04].
- [8] s. e. e. y. e. PYACSA, «<https://www.pyacsa.com.mx/productos/esquinero/plastico/>,» PYACSA, soluciones en empaque y embalaje, [En línea]. Available: <https://www.pyacsa.com.mx/productos/esquinero/plastico/>. [Último acceso: 2022 05 03].
- [9] Emplast, «<https://emplastcr.com/esquineros-para-embalaje/>,» [En línea]. Available: <https://emplastcr.com/esquineros-para-embalaje/>. [Último acceso: 2022 04 01].
- [10] G. SUPPLY, «GLOBAL SUPPLY, SA DE CV,» [En línea]. Available: <https://www.tecnoformas.com.ec/productos/esquineros-plasticos/>. [Último acceso: 8 07 2022].
- [11] F. Toro, «Costos ABC y presupuestos: Herramientas para la productividad,» Colombia , ECOE, ediciones, 2017, p. 476.
- [12] M. L. & X. Gómez, Gestión de costos y Precios, México: Grupo Eitorial Patria SA de CV, 2021.

Realidad emergente: Influencia de los factores psicosociales en la productividad humana

N. Tass Salinas^{1*}, R.E. Arcos Juárez¹, C.I. Rejón Castro¹ E. Macías Calleros²

¹Departamento Académico de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de los Ríos, Carretera Balancán-Villahermosa, Km 3, C.P. 86930, Balancán, Tabasco.

²Facultad de Contabilidad y Administración de Tecomán, Universidad de Colima, Carretera Colima-Manzanillo, Km 40, Colonia La Estación, C.P. 28934, Tecomán, Colima, México
[*nancy.ts@rios.tecnm.mx](mailto:nancy.ts@rios.tecnm.mx)

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

El trabajo incide en el bienestar de las personas al ser ejercido en cualquier organización, influyendo de forma positiva o negativa en la salud física o mental acorde a la experiencia vivida. Lo anterior, denota el objetivo de la presente investigación cuantitativa con un enfoque explicativo en la aplicación del instrumento referenciado en la NOM-035-STPS-2018, que de forma puntual es el cuestionario de la Guía de Referencia II (GRII), que permite identificar los factores de riesgo psicosocial en los centros de trabajo a través de 46 reactivos que muestran una confiabilidad de 0.8905 nivel alfa de Cronbach. El objeto de estudio es una empresa Purificadora de Agua del municipio de Balancán, Tabasco, donde contribuyeron 20 trabajadores, obteniendo la calificación final de 84 indicando un nivel alto de riesgo a través de los factores de la carga de trabajo, jornada laboral y liderazgo aplicado; que son el parteaguas para las propuestas de acción de mejora en un plan estratégico. Palabras clave: Riesgos psicosociales, productividad, bienestar, NOM-035-STPS-2018

Abstract

Work affects the well-being of people by being exercised in any organization, positively or negatively influencing physical or mental health according to the experience lived. The foregoing denotes the objective of this quantitative research with an explanatory approach in the application of the instrument referenced in NOM-035-STPS-2018, which in a timely manner is the Reference Guide II (GRII) questionnaire, which allows identify psychosocial risk factors in the workplace through 46 items that show a reliability of 0.8905 Cronbach's alpha level. The object of study is a water purification company in the municipality of Balancán, Tabasco, where 20 workers contributed, obtaining the final score of 84 indicating a high level of risk through the factors of workload, working hours and applied leadership, which are the watershed for improvement action proposals in a strategic plan.

Key words: Psychosocial risks, productivity, well-being, NOM-035-STPS-2018

Introducción

El artículo 2 de la Ley Federal del Trabajo señala como característica del trabajo digno, aquel que cuente con las condiciones óptimas de seguridad e higiene para prevenir riesgos de trabajo [1], aunado a ello, el artículo 473 indica que los riesgos de trabajo son los accidentes y enfermedades a los que están expuestos los trabajadores en ejercicio o con motivo de trabajo, incluso hasta los efectos sobre la salud mental de los mismos [1], por lo que la prevención es responsabilidad de los empleadores.

En esta línea de pensamiento, la Secretaría de Trabajo y Previsión Social crea la Norma Oficial Mexicana-035-STPS-2018, como el ente regulador para la atención a los aspectos psicosociales que no son abarcados por la Ley Federal del Trabajo. El Artículo 475 Bis de la Ley Federal del Trabajo [1] confirma la obligación de los patrones de observar las Normas Oficiales Mexicanas para prevenir los riesgos de trabajo, incluyendo la NOM-035-STPS-2018.

El objetivo de la NOM-035-STPS-2018 [2] es establecer los elementos claves para identificar, analizar y prevenir los factores de riesgo psicosocial, así como promover un entorno organizacional próspero en los centros de trabajo.

Por lo anterior, es una realidad emergente que las organizaciones focalicen la atención y la acción en salvaguardar el bienestar del capital humano, ya que, por muchos años, esto no ha sido tan importante y mucho menos, para las micro, pequeñas y medianas empresas; pero que, de acuerdo con datos obtenidos en investigaciones aplicadas, se debe prestar atención por las consecuencias que se tienen reflejadas en enfermedades físicas y mentales.

La NOM-035-STPS-2018, incluye en el contexto de la norma, Guías de Referencia para identificar, analizar y evaluar los riesgos psicosociales y entornos organizacionales, pero para la presente investigación, se consideró el cuestionario de la Guía de Referencia II (GRII), ya que la norma indica en el punto 7.a [2], que los centros de trabajo que contemplen de 16 a 50 trabajadores, deberán realizar únicamente la identificación y análisis de los factores de riesgo psicosocial de todos los trabajadores.

La Guía de Referencia II (GRII), es el instrumento basado en un cuestionario para identificar los factores de riesgo psicosocial que influyen en las organizaciones, donde se identifican ocho factores de análisis, tales como las condiciones en el ambiente de trabajo, la carga de trabajo, la falta de control sobre el trabajo, la jornada de trabajo, interferencia en la relación trabajo-familia, el liderazgo, las relaciones en el trabajo y violencia [2]; a través de 46 ítems para ponderar el nivel de riesgo y las acciones de mejora a ejecutar para incrementar la productividad humana y minimizar el impacto a enfermedades con mayor gravedad.

En toda organización saludable, el personal es productivo; ya que se atienden sus necesidades y se les da valor a las encomiendas dadas [3]; y hoy por hoy, se requiere romper paradigmas en que las micro, pequeñas y medianas empresas no requieren aplicar normativas; todo lo contrario, se tiene que hacer para crear una cultura orientada a la calidad, productividad y competitividad.

Metodología

Diseño de la investigación

El enfoque de la investigación según el tipo de datos empleados es cuantitativo [4], ya que se basa en la recopilación de datos y se vale del uso de herramientas matemáticas, estadísticas e informáticas para medirlos; permitiendo hacer conclusiones generalizadas que pueden ser proyectadas en el tiempo. Por otra parte, por la profundización, es una investigación explicativa [5] por que establece relaciones de causa y efecto que permiten la obtención de interpretaciones correctas que puedan extenderse a realidades similares.

Instrumento de evaluación y objeto de estudio

Para identificar los factores de riesgo psicosocial que influyen de manera significativa en la productividad humana se utilizó el cuestionario de la Guía de Referencia II (GRII) de la NOM-035-STPS-2018.

La Guía de Referencia II (GRII) integra cuatro categorías donde se clasifican los dominios que son considerados los factores de riesgo psicosocial en el trabajo. Se utiliza la escala tipo Likert para la medición de los ítems conformada por cinco posibles respuestas (*siempre, casi siempre, algunas veces, casi nunca, nunca*).

En la Tabla 1. Estructura de la Guía de Referencia II (GRII) de la NOM-035-STPS-2018 [2], se identifican las categorías, dominio/factor de riesgo, dimensión y el número de ítems que se requiere medir para el análisis del instrumento.

Tabla 1. Estructura de la Guía de Referencia II (GRII) de la NOM-035-STPS-2018. Fuente [2]

Categoría	Dominio/Factor de riesgo	Dimensión	Ítems	
Ambiente de trabajo	Condiciones en el ambiente de trabajo	Condiciones peligrosas e inseguras	2	
		Condiciones deficientes e insalubres	1	
		Trabajos peligrosos	3	
Factores propios de la actividad	Carga de trabajo	Cargas cuantitativas	4, 9	
		Ritmos de trabajo acelerado	5, 6	
		Carga mental	7, 8	
		Cargas psicológicas emocionales	41, 42, 43	
		Cargas de alta responsabilidad	10, 11	
		Cargas contradictorias o inconsistentes	12, 13	
	Falta de control sobre el trabajo	Falta de control y autonomía sobre el trabajo	20, 21, 22	
		Limitada o nula posibilidad de desarrollo	18, 19	
		Limitada o inexistente capacitación	26, 27	
Organización del tiempo del trabajo	Jornada de trabajo	Jornadas de trabajo extensas	14, 15	
	Interferencia en la relación trabajo-familia	Influencia del trabajo fuera del centro laboral	16	
		Influencia de las responsabilidades familiares		17
Liderazgo y relaciones en el trabajo	Liderazgo	Escasa claridad de funciones	23, 24, 25	
		Características del liderazgo	28, 29	
	Relaciones en el trabajo	Relaciones sociales en el trabajo	30, 31, 32	
		Deficiente relación con los colaboradores que supervisa	44, 45, 46	
	Violencia	Violencia laboral	33,34,35,36,37,38,39,40	

Para la interpretación de los resultados individuales del cuestionario se considera la ponderación indicada por la NOM-035-STPS-2018 [2], tal como se presenta en la Tabla 2. Valor de las opciones de respuesta, que la misma norma señala.

Tabla 2. Valores de las opciones de respuesta del cuestionario de la Guía de Referencia II (GRII). Fuente [2]

Ítems	Calificación de las opciones de respuesta				
	Siempre	Casi Siempre	Algunas veces	Casi nunca	Nunca
18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28,29, 30, 31, 32, 33	0	1	2	3	4
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13,14,15, 16, 17, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41,42, 43, 44, 45, 46	4	3	2	1	0

Lo que permitirá ponderar la clasificación final del cuestionario individual bajo los rangos especificados por la NOM-035-STPS-2018 [2], que se muestran en la Tabla 3. Rangos del resultado de la calificación final, para determinar el nivel de riesgo acorde a los criterios que indica la norma como se presenta en la Tabla 4. Criterios para la toma de acciones [2].

Tabla 3. Rangos del resultado de la calificación final del cuestionario de la Guía de Referencia II. Fuente [2]

Resultado del cuestionario	Rango para la calificación final				
	Nulo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Calificación final del cuestionario C_{final}	$C_{final} \leq 20$	$20 \leq C_{final} \leq 45$	$45 \leq C_{final} \leq 70$	$70 \leq C_{final} \leq 90$	$C_{final} \geq 90$

Tabla 4. Criterios para la toma de acciones. Fuente [2]

Nivel de riesgo	Necesidad de acción
Muy Alto	Se requiere realizar el análisis de cada categoría/dominio para establecer las acciones de intervención apropiadas, mediante un Programa de intervención que deberá incluir evaluaciones específicas, y contemplar campañas de sensibilización, revisar la política de prevención de riesgos psicosociales y programas para la prevención de los factores de riesgo psicosocial, la promoción de un entorno organizacional favorable y la prevención de la violencia laboral, así como reforzar su aplicación y difusión.
Alto	Se requiere realizar un análisis de cada categoría/dominio, de manera que se determinen las acciones de intervención apropiadas a través de un Programa de intervención, que podrá incluir una evaluación específica y deberá incluir una campaña de sensibilización, revisar la política de prevención de riesgos psicosociales y programas para la prevención de los factores de riesgo psicosocial, la promoción de un entorno organizacional favorable y la prevención de la violencia laboral, así como reforzar su aplicación y difusión.
Medio	Se requiere revisar la política de prevención de riesgos psicosociales y programas para la prevención de los factores de riesgo psicosocial, la promoción de un entorno organizacional favorable y la prevención de la violencia laboral, así como reforzar su aplicación y difusión, mediante un Programa de intervención.
Bajo	Es necesario una mayor difusión de la política de prevención de riesgos psicosociales y programas para: la prevención de los factores de riesgo psicosocial, la promoción de un entorno organizacional favorable y la prevención de la violencia laboral.
Nulo	El riesgo resulta despreciable por lo que no se requiere medidas adicionales.

Una vez aplicado el cuestionario, se debe realizar un concentrado de resultados para la interpretación final acorde al nivel de riesgo.

El objeto de la investigación es una pequeña empresa Purificadora de Agua del municipio de Balancán, Tabasco, México; que cuenta con una población de 23 personas que laboran en ella, de las cuales 20 fueron considerados sujetos de estudio de la investigación con las siguientes características mostradas en la Tabla 5.

Tabla 5. Características de los sujetos de estudio. Elaboración propia, 2022

Características de la población	Número de personal	Porcentaje (%)
Total de personal	20	100.0
Hombres	17	85.0
Mujeres	3	15.0
Mayores de 30 años	18	90.0
Nivel Máximo de estudio: Licenciatura	4	20.0
Antigüedad: ≤ 2 años	19	95.0
Estado civil: Casado	17	85.0
Familia: ≤ 4 integrantes	14	70.0

Análisis e interpretación de datos

Para el análisis de los resultados finales se aplican herramientas como el Diagrama de Pareto y el método Pearson, con un nivel de confianza del 95%, ejecutados en el Software Minitab 19, mismos que permitirán identificar la relación y correlación entre los factores de riesgo, así como el análisis de causa-efecto.

Resultados y discusión

Análisis de validez del instrumento

El Alfa de Cronbach indica la consistencia interna que tienen los reactivos que forman una escala a través de una medida; si la medida resulta alta se interpreta que se tiene evidencia de la homogeneidad, es decir, que los reactivos están apuntando en la misma dirección [6]. Al realizarse el análisis de confiabilidad, el coeficiente Alfa de Cronbach aplicado al instrumento constituido por una escala Likert para determinar los factores con una correlación fuerte que inciden en la productividad humana, es de 0.8905, que representa un rango válido (≥ 0.7) para la investigación, aplicando la fórmula que se muestra en la Figura 1.

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^k \alpha_{Y_i}^2}{\alpha_X^2} \right)$$

Figura 1. Fórmula para el cálculo del Alfa de Cronbach. Fuente [6]

Donde:

α (Alfa) = 0.8905

k (Número de preguntas) = 46

V_i (Varianza de cada pregunta) = 18.032

V_t (Varianza total) = 22.146

Resultados del cuestionario de la Guía de Referencia II (GRII)

El instrumento aplicado a las 20 personas mostró un promedio final de 84 y acorde a la Tabla 3. Rangos del resultado de la calificación final del cuestionario de la Guía de Referencia II (GRII), el resultado del nivel de riesgo es alto [2].

En la Tabla 6. Concentrado de resultados de los niveles de riesgo por categoría/dominio, se muestran las frecuencias y porcentajes de cada dominio/factor de riesgo, con la finalidad de comprender cuantitativamente el impacto que genera en el personal cada acción que se ejecuta de forma individual y en equipo, trascendiendo en los procesos internos de la organización.

Tabla 6. Concentrado de resultados de los niveles de riesgo por categoría/dominio. Elaboración propia, 2022

Categoría	Dominio/Factores de riesgo	Niveles de riesgo									
		Muy alto		Alto		Medio		Bajo		Nulo	
		Fr	%	Fr	%	Fr	%	Fr	%	Fr	%
Ambiente del trabajo	Condiciones en el ambiente del trabajo	1	5.0	2	10.0	12	60.0	4	20.0	1	5.0
	Factores propios de la actividad	Carga de trabajo	16	80.0	3	15.0	1	5.0	0	0.0	0
		Falta de control sobre el trabajo	4	20.0	12	60.0	3	15.0	1	5.0	0
Organización del tiempo de trabajo	Jornada de trabajo	14	70.0	5	25.0	1	5.0	0	0.0	0	0.0
	Interferencia en la relación trabajo-familia	1	5.0	2	10.0	16	80.0	1	5.0	0	0.0
	Liderazgo	3	15.0	15	75.0	2	10.0	0	0.0	0	0.0
Liderazgo y relaciones en el trabajo	Relaciones en el trabajo	2	10.0	14	70.0	3	15.0	1	5.0	0	0.0
	Violencia	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	20	100.0

Los dominios/factores de riesgo predominantes que muestran un nivel de riesgo alto son la carga de trabajo y la jornada de trabajo, que acorde al principio de Pareto [7] se refiere a que pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%). Se reconoce que más del 80% de la problemática en una organización, es por causas comunes, es decir, se debe a problemas o situaciones que

actúan de manera permanente sobre los procesos; lo anterior, permite denotar que la carga de trabajo que se le asigna al personal es excesiva y se convierte en el factor principal que ocasiona la baja productividad del individuo. No obstante, los demás factores con un nivel alto de riesgo requieren soluciones inmediatas sujetas a la toma de decisiones del administrador ya que se declinan al tipo de liderazgo empleado en los procesos internos que hacen que sean extensas las jornadas de trabajo, la falta de control sobre el trabajo al no tener procedimientos establecidos y formales, interfiriendo en la relación trabajo-familia. En la figura 2. Diagrama de Pareto se visualiza la declinación de los factores.

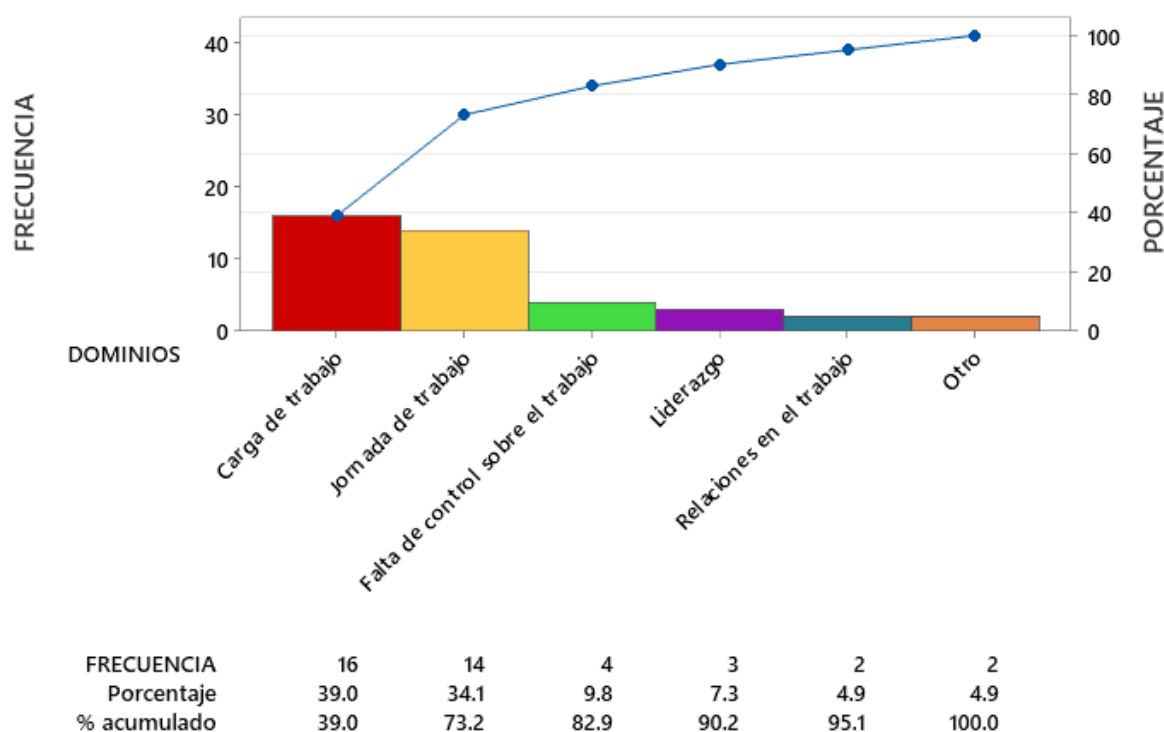


Figura 2. Diagrama de Pareto. Elaboración propia, 2022

Análisis de correlación de los dominios/factores de riesgos

El análisis de correlación es un enfoque estadístico que se utiliza para determinar la relación entre las variables cuantitativas de estudio, en este caso, utilizando datos bivariados, para cuantificar qué tan fuerte o débil es la correlación para un conjunto de n valores del tipo (x_i, y_i) [10]. Los resultados obtenidos se mostrarán por cada variable dependiente (y_1, y_2) realizando la correlación simple y en pareja de Pearson entre los factores (variables independientes (x_1, x_2, \dots, x_n)) que permitirán identificar la significancia entre los valores que toma el coeficiente de correlación r , entre -1 y 1 , $(-1 \leq r \leq 1)$. Los valores de r cercanos o iguales a cero implican poca o nula relación entre X y Y . En contraste, valores de r cercanos a 1 indican una relación fuerte y valores de r próximos a -1 señalan una muy fuerte correlación negativa. Valores de r cercanos a -0.85 o 0.85 indican una correlación fuerte, mientras que valores de r cercanos a -0.50 o 0.50 hablan ya de una correlación moderada a débil. Por último, valores de r iguales o menores que -0.30 o 0.30 indican una correlación inexistente [8].

Análisis de correlación de Pearson

En la Tabla 7. Correlación de Pearson de los dominios/factores de riesgo, se interpreta mediante valores de correlación significativa y fuerte [7] coincidiendo con el enfoque del principio de Pareto, donde la relación directa entre la carga de trabajo y la jornada de trabajo afecta la productividad del personal; así mismo, las condiciones en el ambiente del trabajo infieren en la relación trabajo-familia y, por último, el liderazgo y las relaciones en el trabajo ocasionan la falta de control sobre el trabajo.

Tabla 7. Correlación de Pearson de los dominios/factores de riesgo. Elaboración propia, 2022

	Condiciones en el ambiente del trabajo	Carga de trabajo	Falta de control sobre el trabajo	Jornada del trabajo	Interferencia en relación T-F
Carga de trabajo	-0.4				
Falta de control sobre el trabajo	-0.1	0.2			
Jornada del trabajo	-0.4	1.0	0.3		
Interferencia en relación Trabajo-Familia	1.0	-0.2	-0.0	-0.2	
Liderazgo	-0.2	0.1	1.0	0.3	-0.1
Relaciones en el trabajo	-0.1	-0.0	1.0	0.2	-0.0
Violencia	-0.4	-0.3	-0.5	-0.4	-0.3
	Liderazgo	Relaciones en el trabajo			
Carga de trabajo					
Falta de control sobre el trabajo					
Jornada del trabajo					
Interferencia en relación Trabajo-Familia					
Liderazgo					
Relaciones en el trabajo	1.0				
Violencia	-0.4	-0.4			

Trabajo a futuro

El administrador de la empresa Purificadora de Agua requiere el diseño de un plan estratégico que desglose las acciones para mejorar las condiciones del ambiente de trabajo garantizando la seguridad y salud del personal. Por otra parte, se requiere la realización de los manuales de procedimientos y funciones para el personal acorde a las actividades que se realizan por área; así como el diseño de políticas internas que aporten al bienestar del personal.

Conclusiones

No es novedad que los cambios en las organizaciones se reflejan de forma acelerada, debido a las demandas y exigencias del entorno globalizado al que estamos inmersos, pero lo que si notorio, es la realidad emergente por los resultados de esos rápidos cambios en el tejido laboral ya que, en muchos de los casos, se focalizan los riesgos hacia el personal, que afectan de forma directa e indirectamente la productividad que ejercen en las funciones específicas que realizan.

Por otra parte, el capital humano es el activo primordial de toda organización, porque de él depende que los procesos productivos y los servicios que ofrecen las organizaciones sean llevados a cabo de manera integral y de calidad para los clientes externos. Por lo anterior, en México a través de la NOM-035-STPS-2018, se establecen las obligaciones que tienen las empresas para mantener y generar un entorno organizacional favorable; dando los mecanismos para propiciar oportunidades que garanticen un ambiente laboral saludable y una cultura empresarial a favor del bienestar de las personas que las integran.

Los resultados obtenidos al aplicar el cuestionario de la Guía de Referencia II (GRII), indicaron un nivel de riesgo alto, donde las acciones se encaminan al desarrollo de un programa de intervención que permita la evaluación específica por cada categoría y dominio/factor sobresaliente en los niveles

de riesgos, así como la realización de una campaña de sensibilización entre los colaboradores para minimizar los riesgos psicosociales y el diseño, revisión y aprobación de políticas y programas para la prevención de los mismos.

Hoy en día, la solución a esa realidad emergente es cuidar el bienestar de las personas a través de la promoción de la salud y prevención de los factores de riesgos psicosocial para generar la calidad de vida requerida en el entorno de trabajo. Para lograr ambientes de trabajo más saludables se requiere con urgencia el diseño de estrategias eficientes, más aún en el escenario actual post pandemia que pone en entredicho las dinámicas laborales y dejan evidencia de la precariedad de los mecanismos internos de las micro, pequeñas y medianas empresas basadas en la relación empresa-trabajador.

De manera precisa, las acciones propuestas se muestran en la Tabla 8. Plan estratégico para la empresa Purificadora de Agua; pero que, a la vez, permite ser replicado en otras organizaciones similares a la situación de los resultados obtenidos.

Tabla 8. Plan estratégico para la empresa Purificadora de Agua. Elaboración propia, 2022

Dominio/Factor de riesgo	Estrategia	Metas	Indicadores de seguimiento
Carga de trabajo	Definir las funciones por cada puesto de trabajo	Revisar las cargas de trabajo para puesto o área y definir la secuencia y responsable para establecerlo en los manuales. Diseñar manuales de procedimientos de las funciones específicas por puestos de trabajo o áreas.	Eficacia
Jornada laboral	Diseñar e implementar políticas internas	Diseñar políticas de derechos y obligaciones del personal. Difundir las políticas internas entre los miembros de la empresa. Implementar indicadores de control para el seguimiento de las políticas. Respetar los horarios de trabajo, así como las actividades festivas y de recreación dentro de la empresa.	Eficacia
Relaciones en el trabajo	Aplicar canales de comunicación efectivos	Establecer mecanismos de comunicación ascendente y descendente. Propiciar reuniones, buzón o medios para conocer la voz del cliente interno. Establecer minutas de trabajo para el seguimiento de los acuerdos.	Eficiencia
Liderazgo	Concientizar a los administradores para el desarrollo de empresa saludable.	Capacitar a los administradores en temas afines a la NOM-035. Desarrollar un programa de empresa saludable. Diseñar un programa de prevención de riesgos psicosociales, considerando acciones como: Espacios y tiempos de alimentación para el personal, área médica, espacios al aire libre, pláticas de organización de tiempo, entre otras	Eficiencia

Hasta ahora, la aplicación de la NOM-035-STPS-2018 en las organizaciones se convierte en una herramienta útil para obtener un diagnóstico general de los niveles de riesgo psicosocial de los trabajadores. Las ventajas que aporta la norma se pueden visualizar en tres niveles: 1) Personal, permitiendo el seguimiento por expediente al desarrollo de cada trabajador, dando atención a los eventos traumáticos que presente o acciones que minimicen los niveles de riesgo en alguna categoría. 2) Departamental, identificando las áreas de oportunidad de mejora con base a los

procesos y actividades que realizan dentro de la organización; y por último, 3) Organizacional, obtención de un panorama amplio para implementar programas, estrategias e incluso replantear la filosofía y cultura organizacional, que permita proveer de ambientes de desarrollo laboral que generen pertenencia y pertinencia en su personal.

Sin embargo, para que estas ventajas sean eficientes y aporten a las organizaciones resultados óptimos, mediante el diseño y establecimiento de estrategias asertivas que minimicen y/o eliminen los riesgos detectados, se deberán realizar continuamente pruebas de diagnóstico para actualizar los indicadores por lo menos una vez al año e involucrar a todo el personal en la detección de áreas de oportunidad haciendo círculos de mejora que aporten información para la determinación de las causas raíces de los riesgos psicosociales y ser parteaguas para el diseño de estrategias que integren la filosofía organizacional, las políticas, los procesos, las estructuras y la implementación de programas que darán un mayor impacto a minimizar los riesgos laborales.

Bibliografía

- [1] D. O. d. I. Federación, «Ley Federal del Trabajo,» 18 05 2022. [En línea]. Available: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFT.pdf>. [Último acceso: 07 08 2022].
- [2] S. d. Gobernación, «Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018 Factores de riesgo psicosocial en el trabajo-Identificación, análisis y prevención,» 23 10 2018. [En línea]. Available: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5541828&fecha=23/10/2018#gsc.tab=0. [Último acceso: 28 07 2022].
- [3] J. J. Benam Cahero y M. González Velázquez, «Evaluación de riesgo psicosocial según la NOM-035. Caso de estudio: Despacho arquitectónico,» *CIEG Centro de Investigaciones y Estudios Gerenciales*, nº 47, pp. 388-401, 2021.
- [4] R. Hernandez Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*, 6ta ed., México: McGraw-Hill, 2014.
- [5] T. Grajales, «Tipos de investigación,» 27 03 2000. [En línea]. Available: cmapspublic2.ihmc.us. [Último acceso: 07 08 2022].
- [6] J. G. Alonso y M. P. Santacruz, «Cálculo e Interpretación del Alfa de Cronbach para el caso de validación de la consistencia interna de un cuestionario con escala likert,» *SSOAR Open Access Repository*, pp. 62-67, 2015.
- [7] H. Gutiérrez Pulido y R. De la Vara Salazar, *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*, 3ra ed., México: McGraw-Hill, 2013.
- [8] H. G. Pulido, *Calidad y Productividad*, Ciudad de México: McGraw Hill, 2020.
- [9] P. Cozby, *Métodos de investigación del comportamiento*, México: McGraw Hill, 2005.
- [10] J. M. Alanis Soberano y L. E. López Canto, «Implementación del diagnóstico factores de riesgo psicosocial con base en la Nom-035-STPS-2018 a personal operativo de una institución educativa,» *Desarrollo Sustentable, Negocio, Emprendimiento y Educación RILCO DS*, nº 17, pp. 98-108, 2021.
- [11] S. Sauter, M. Lawrence y J. Hurrell, «Factores psicosociales y de organización,» de *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*.
- [12] S. S. Jaimes Mora y L. P. Pernia Orozco, «Factores psicosociales que influyen en el comportamiento laboral de acuerdo con los procesos de gestión administrativa y del talento humano que presentan los empleados de la empresa Distraves S.A. de Cúcuta,» *Mundo Fesc*, nº 10, pp. 23-26, 2020.

Características vinculadas a la RSU presentes en estudiantes de una IES en Veracruz, México

B. Antonio Pacheco^{1*}, M. B. Ordaz Hernández², A. Alonso Guillén³, J. Soriano Feria⁴
Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Veracruzana, Av. Universidad Km 7.5, Col. Santa Isabel, C.P. 96538, Coatzacoalcos, Veracruz, México
1antpacheco@uv.mx, 2mordaz@uv.mx, 3amalonso@uv.mx, 4zs19016838@estudiantes.uv.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

El presente estudio con enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y de corte transversal, tiene como objetivo identificar las características vinculadas a la Responsabilidad Social Universitaria presentes en los estudiantes del Programa Educativo de Gestión y Dirección de Negocios adscritos a la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Veracruzana campus Coatzacoalcos, en el periodo febrero – julio 2022. El instrumento utilizado contempla siete características: conciencia, compromiso, controversia con civilidad, respeto a la diversidad, ciudadanía, justicia social y cambio, con respuestas tipo Likert desde totalmente en desacuerdo (1) hasta totalmente de acuerdo (5). Entre los resultados encontrados, el respeto a la diversidad es la característica que sobresale con una media de 4.35, la “conciencia” se posiciona en segundo lugar junto con “controversia con civilidad” (media de 4.01), seguido del cambio (media de 3.97), justicia social (media de 3.93), compromiso (media de 3.92) y ciudadanía (media de 3.88) respectivamente.

Palabras clave: Características, RSU, estudiantes, Universidad.

Abstract

The present study with a quantitative, descriptive and cross-sectional approach, aims to identify the characteristics linked to University Social Responsibility present in the students of the Educational Program of Management and Business Administration attached to the Faculty of Accounting and Administration of the Universidad Veracruzana campus Coatzacoalcos, in the period February - July 2022. The instrument used contemplates seven characteristics: awareness, commitment, controversy with civility, respect for diversity, citizenship, social justice and change, with Likert-type responses from totally disagree (1) to totally agree (5). Among the results found, respect for diversity is the characteristic that stands out with an average of 4.35, "awareness" is positioned in second place together with "controversy with civility" (average of 4.01), followed by change (average of 3.97), social justice (mean 3.93), commitment (mean 3.92) and citizenship (mean 3.88) respectively.

Key words: Characteristics, RSU, students, University.

Introducción

La universidad es considerada un centro del saber, donde la preparación académica y el desarrollo de las capacidades reflexivas son algunos de los pilares que la sostienen. No obstante, aun con sus contribuciones científicas y culturales no están exentas de las demandas sociales puesto que allí, se desarrolla una conciencia social [1]. La universidad tiene una responsabilidad en la formación de los educandos y con la sociedad; por ello, es necesario una educación integral en cada una de las áreas del conocimiento. En este sentido, la Responsabilidad Social Universitaria (RSU) constituye una línea de acción que actualmente requieren las universidades para generar iniciativas de comprensión y resolución de problemas a los desafíos globales de la sociedad [2]. La RSU es una nueva política de gestión universitaria que redefine la tradicional extensión y proyección social solidaria, introduciendo un enfoque global de cuidado de los impactos administrativos y académicos en todos los procesos de la universidad [3]. El objetivo fundamental de la RSU es desarrollar una serie de acciones que permitan estrechar las relaciones de la Universidad con la sociedad [4]. Es por ello que resulta importante reflexionar si los esfuerzos de las universidades en lo que respecta en la formación de los

estudiantes a través de sus diversas Experiencias Educativas, foros, congresos, investigaciones, así como la vinculación ciudadana, ambiental y con el sector productivo han influido en la transformación social.

Por lo anterior, este estudio de investigación tiene como objetivo identificar las características vinculadas a la RSU en los estudiantes del Programa Educativo de Gestión y Dirección de Negocios (GDN) inscritos en el periodo febrero - julio 2022 en la Universidad Veracruzana (UV) de la Facultad de Contaduría y Administración (FCA) campus Coatzacoalcos, mismo que permite determinar en los sujetos de estudio las características más desarrolladas en cuanto a la conciencia, compromiso, controversia con civilidad, respeto a la diversidad, ciudadanía, justicia social y cambio.

Metodología

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y de corte transversal. Cabe subrayar que al tratarse de una investigación descriptiva y que solo busca identificar las características relacionadas con la RSU, no se generó hipótesis alguna [5]. En su desarrollo se consideraron tres fases, la primera se refiere a la investigación documental de teorías, modelos e instrumentos relacionados con la identificación de las características enfocadas a la RSU, entre ellos se encontró el denominado “Construcción y Validación de un Instrumento para Evaluar las Características de la Responsabilidad Social Universitaria en Estudiantes Universitarios” que considera siete características de un estudiante socialmente: conciencia, compromiso, controversia con civilidad, respeto a la diversidad, ciudadanía, justicia social y cambio. Se debe mencionar que los autores lograron distribuir los ítems en el “Modelo de Cambio Social de Retolaza”, mismo que comprende las dimensiones de: transformación personal, transformación de relaciones, transformación de patrones culturales y transformación estructural. El análisis de este estudio se limitó a las siete características mencionadas, debido a que solo busca identificar su desarrollo desde el autodiagnóstico de los estudiantes [6]. En la Tabla 1, se aprecia y describe cada una de las características relacionadas con la RSU.

Tabla 1. Descripción de las características vinculadas a la Responsabilidad Social Universitaria [6].

Características	Descripción
Conciencia	La conciencia tiene que ver con el conocimiento que una persona posee sobre sus propios pensamientos y acciones. Aplicado en los estudiantes, tiene que ver con el reconocimiento de sus talentos, intereses, preocupaciones, entre otros y ponerlos al servicio de la sociedad.
Compromiso	Es la responsabilidad que tiene el estudiante con la justicia social y el servicio con la comunidad. Este compromiso requiere por parte del estudiante: pasión, credibilidad, persistencia a pesar de los retos o desafíos, cumplir los compromisos de manera oportuna y por arriba de las expectativas.
Controversia con civilidad	Actuar con civilidad hace referencia a la comprensión del origen de un desacuerdo o disputa y contar con la habilidad para continuar con el diálogo y el trabajo colaborativo sin perder el propósito de la construcción de una sociedad más justa y humana. También implica la capacidad de indignarse ante situaciones de injusticias y atreverse a denunciarlas con pruebas objetivas sin perder el respeto a los demás.
Respeto a la diversidad	Implica la conciencia que debe tomar el estudiante de la interculturalidad y multiculturalidad humana, implica también reconocer la propia cultura (orígenes) y aceptar otras culturas. La sociedad se caracteriza por la diversidad humana y esa diversidad hace único y especial a cada individuo.
Ciudadanía	Se pueden identificar dos tipos de ciudadanía: la primera hace referencia a aquellos deberes colectivos que el Estado regula y que la persona adquiere al alcanzar una determinada edad. El segundo permite al estudiante vivir su condición de ciudadano como agente de cambio social, debatiendo asuntos de preocupación de la colectividad, diseñando proyectos y presentándolos en espacios o plataformas tales como foros y de ser posible, participando en su implementación. El segundo es el que se desea inculcar en los estudiantes.
Justicia social	Las Instituciones de Educación Superior, contribuyen a la generación de una dinámica que trabaje desde y por la justicia social, o bien, a reproducir o perpetuar las injusticias o desigualdades. En este sentido, los estudiantes deben comprender los retos de la justicia (pobreza, desigualdad, discriminación, etc.) independientemente del entorno político, social, económico, ambiental y

Cambio mantengan una orientación que se incline preferentemente hacia los ámbitos de mayor vulnerabilidad de su sociedad y contribuyan a contribuir con su profesión a la búsqueda permanente de una sociedad más justa y humana. El cambio implica la transición de un estado a otro y siempre está presente. En este sentido, el cambio debe tener como objetivo esencial la construcción de un mundo más humano y justo; para ello, es necesario creer fielmente en la posibilidad y fomentar la autenticidad de este sueño.

La segunda etapa corresponde a la determinación de la población y la muestra. Se utilizó el método de muestreo probabilístico y como técnica la de estratificación y de una población de 324 estudiantes activos en el periodo febrero - julio de 2022 en el Programa Educativo de Gestión y Dirección de Negocios de la Facultad de Contaduría y Administración y se logró una muestra de 177 sujetos distribuidos por semestres como se aprecia en la Tabla 2. Se consideró un nivel de confianza de 95% y margen de error de 5%.

Tabla 2. Determinación de la muestra por el método no probabilístico y como técnica la de estratificación por semestre de los estudiantes del Programa Educativo de GDN activos en el periodo febrero – julio 2022 en la FCA.

Semestre	Estudiantes activos	Estrato proporcional
Segundo	88	48
Cuarto	79	43
Sexto	85	46
Octavo	72	39
Total	324	177

El cuestionario originalmente arrojó un alfa de Cronbach de 0.932 con 47 reactivos, mismo que se respetó para su aplicación en los sujetos antes mencionados; adicionalmente se le agregaron 4 preguntas de datos demográficos (ítems de la 1 a la 4) como género, edad, semestre y si el estudiante realiza en la actualidad alguna actividad laboral (remunerada o no), la sección dos de las características de RSU (ítems 5 a la 51) y la tercera sección de comentarios y/o sugerencias (ítem 52). Respecto a la confiabilidad del cuestionario en este estudio fue de 0.977 y que de acuerdo con las propuestas de George y Mallery [7] es excelente. En la tercera etapa de la investigación, se elaboraron los cálculos estadísticos y los respectivos análisis.

Resultados y discusión

En este apartado se presentan los resultados del cuestionario aplicado a los estudiantes del Programa Educativo de GDN. Se calculó el Alfa de Cronbach por característica, misma que se aprecia en la Tabla 3.

Tabla 3. Alfa de Cronbach general y por característica vinculada a la RSU del cuestionario aplicado a los estudiantes del Programa Educativo de GDN de la FCA.

Características vinculadas a la RSU	Ítems	Alfa de Cronbach	Confiabilidad
Conciencia	9	0.890	Bueno
Compromiso	3	0.779	Aceptable
Controversia con civilidad	4	0.806	Bueno
Respeto a la diversidad	8	0.940	Excelente
Respeto a la ciudadanía	8	0.914	Excelente
Justicia social	10	0.895	Bueno
Cambio	5	0.811	Bueno
Global	47	0.977	Excelente

La Tabla 4 muestra los datos demográficos de los sujetos participantes, donde se visualiza que el género femenino tuvo mayor participación representando el 67% del total de los estudiantes inscritos en el periodo antes mencionado y el resto masculino (35%). Con relación al semestre este se encuentra muy similar en todos con un 27% el segundo y sexto, 24% cuarto y el 22% de octavo. Respecto a la edad, el 78% se encontraba en un rango de 17 a 21 años, el 19% de entre 22 a 26, solo el 2% de entre 27 a 31 y 1% de 32 o más. El 57% de los estudiantes activos solo se dedicaron al estudio, mientras que resto trabajó y estudió al mismo tiempo.

Tabla 4. Datos demográficos de los estudiantes del Programa Educativo de GDN participantes en la encuesta activos en el periodo febrero – julio 2022 en la FCA.

Datos demográficos		Porcentaje
Género	Femenino	65%
	Masculino	35%
Semestre	Segundo	27%
	Cuarto	24%
	Sexto	27%
	Octavo	22%
Edad	17 a 21 años	78%
	22 a 26 años	19%
	27 a 31 años	2%
	32 años o más	1%
Actividad laboral	Sí	43%
	No	57%

En la Figura 1, se aprecia las características vinculadas a las RSU por género, donde el femenino posee la media más alta en cada una de ellas con relación al masculino; sin embargo, el respeto por la diversidad sobresale en el femenino como el masculino con una diferencia de medias de 0.21 respectivamente. Mientras que las mujeres posicionan en segundo lugar a la característica de controversia con civildad, los hombres posicionan en este mismo lugar la conciencia. De las 7 características, el género femenino posiciona en último lugar la ciudadanía, mientras que el masculino el compromiso con una diferencia muy insignificante de 0.01 con ciudadanía.

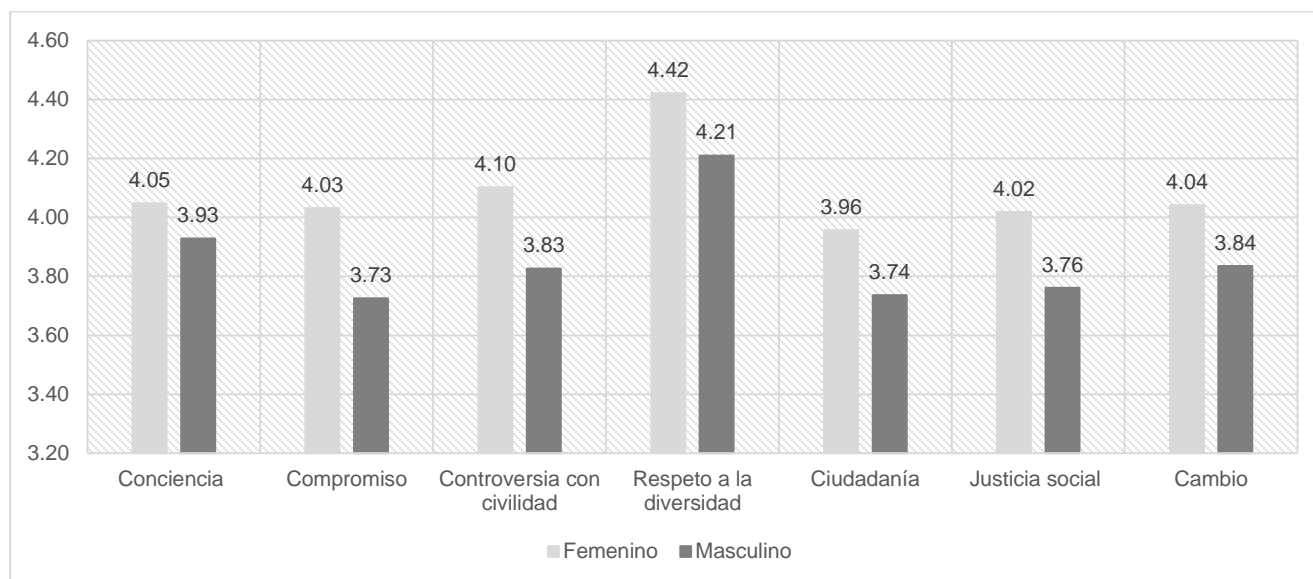


Figura 1. Identificación de las características vinculadas a la RSU por género en estudiantes del Programa Educativo de GDN en la FCA de la Universidad Veracruzana campus Coatzacoalcos, periodo febrero – julio 2022.

En la Figura 2, se presenta una gráfica cruzada de las características de la RSU por semestre; es importante precisar que los estudiantes de cuarto, sexto y octavo semestres presentan las medias más altas con relación a los de segundo, incluso los de octavo semestre están por encima de las demás en 5 características: compromiso, controversia con civildad, ciudadanía, justicia social y cambio. Con lo anterior, todo parece indicar que las Experiencias Educativas que van cursando los estudiantes de GDN plan 2019 influyen en su formación, específicamente donde se abordan temas de responsabilidad social como “ética y responsabilidad social en los negocios” (mismo que los estudiantes de segundo semestre iniciaban a cursar cuando se aplicó la encuesta), gestión del talento humano (donde se abordan temas de la gestión de la diversidad), desarrollo sustentable y emprendimiento social (que se cursan en octavo semestre), por solo mencionar algunas. Es pertinente referirse que los foros que se organizan desde las diversas Experiencias Educativas, academias por áreas de

conocimiento, cuerpos académicos, sí están influyendo en la formación social del estudiante; así como la participación de estos en investigaciones, congresos y actividades con la comunidad, organizada desde las Experiencias Educativas; sin embargo, es necesario reforzar la característica de ciudadanía ya que posee la media más baja si se compara con el resto.

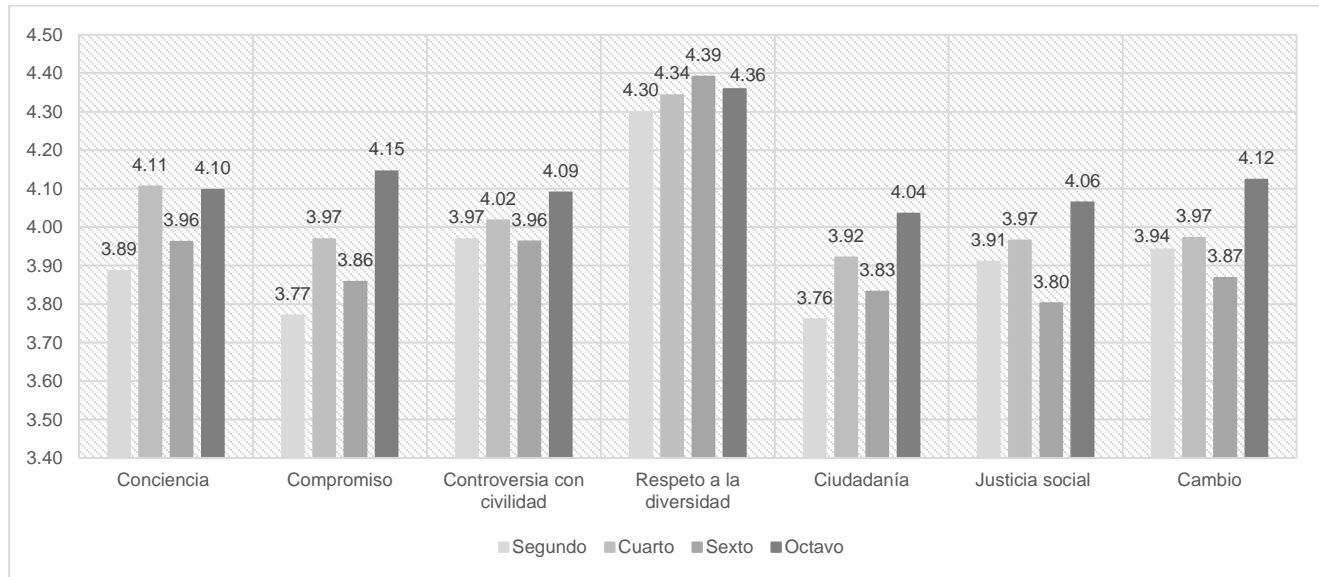


Figura 2. Identificación de las características vinculadas a la RSU por semestre en estudiantes del Programa Educativo de GDN en la FCA de la Universidad Veracruzana campus Coatzacoalcos, periodo febrero – julio 2022.

Se elaboró una gráfica cruzada por actividad laboral, en donde se cuestionó a los estudiantes si independientemente de estudiar, laboraban para alguna organización ya sea remunerada o no. En la Figura 3, se visualiza que aquellos que colaboran y estudian al mismo tiempo, poseen mejores características relacionadas con la responsabilidad social ya que sobresalen con las medias más altas con relación a los que solo están enfocados al estudio, seguramente este factor se debe a que aprecian de manera directa las acciones sociales que las empresas ponen en práctica. Lo interesante de esta gráfica es que el respeto a la diversidad es la más alta de todas y la más baja la ciudadanía.

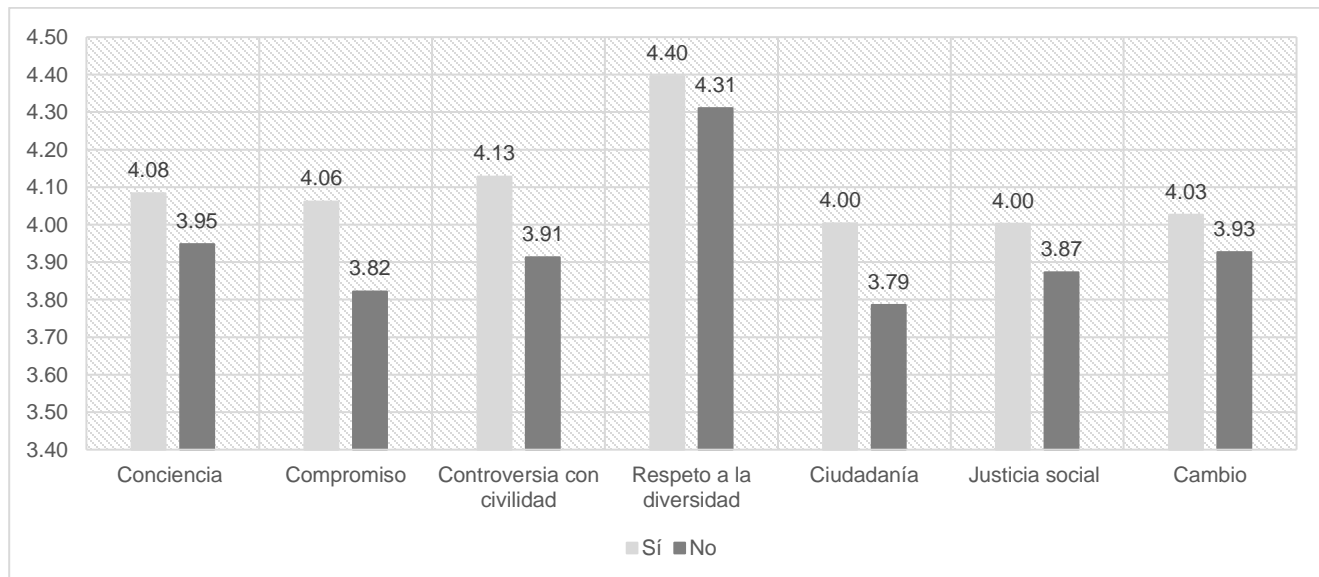


Figura 3. Identificación de las características vinculadas a la RSU por semestre en estudiantes del Programa Educativo de GDN en la FCA de la Universidad Veracruzana campus Coatzacoalcos, periodo febrero – julio 2022.

Finalmente, en la Figura 4, se visualiza de manera general las características vinculadas a la RSU presentes en estudiantes de la LGDN durante el periodo febrero – julio 2022, donde la variable “respeto a la diversidad” es la que posee la media más alta con 4.35 (con una diferencia de 0.65 para ser perfecta) y la más baja la ciudadanía (3.88). Es interesante apreciar que la mayoría de los estudiantes del Programa Educativo de GDN son conscientes de la interculturalidad y multiculturalidad humana, reconocen su propia cultura y aceptan otras culturas. En este sentido, se puede inferir que las diversas acciones que la Universidad Veracruzana ha implementado a través de la Facultad de Contaduría y Administración como la promoción a través de platicas del “Protocolo para atender la violencia de género en la Universidad Veracruzana” ha sensibilizado a los estudiantes en esta temática por solo mencionar una; sin embargo para certificar esta información, habría que seguir con investigaciones futuras y ver el comportamiento de las variable de estudio.

Por otra parte, la característica “conciencia” se posiciona en segundo lugar junto con “controversia con civilidad”, con lo que se infiere que la mayoría de los estudiantes reconocer sus talentos y están conscientes en que deben de ponerlo al servicio de los demás, así como la capacidad de denunciar situaciones de injusticias sin perder el respeto a los demás.

El “cambio” se posicionó en tercer lugar con una diferencia mínima de 0.04 con las características mencionadas en el párrafo anterior, con lo que se infiere que los estudiantes del Programa Educativo de GDN tienen esperanza de que es posible crear un mundo más humano y justo. En cuarto lugar, se posiciona la “justicia social” con una diferencia mínima de 0.01 con el compromiso. Finalmente, la dimensión con la media más baja es la ciudadanía con una diferencia mínima de 0.04 con “compromiso”; si bien, es la media más baja, también es cierto que está por arriba de la media; sin embargo, es necesario generar acciones que permitan promover y ejecutar acciones de manera específica en los estudiantes.

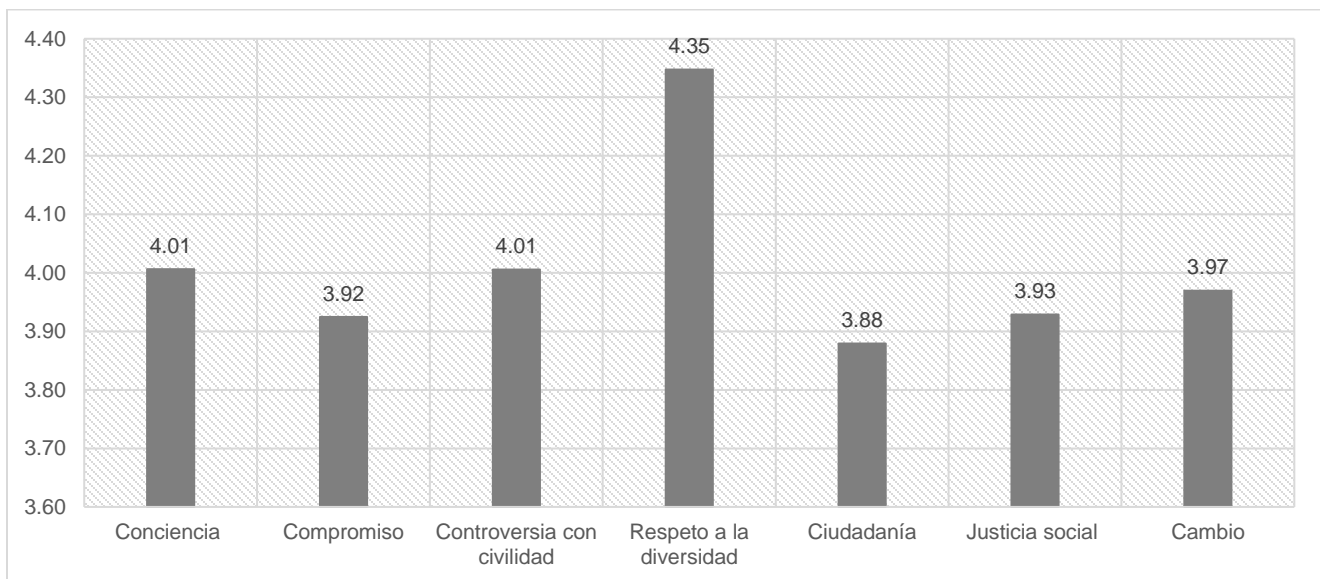


Figura 4. Identificación de las características vinculadas a la RSU por semestre en estudiantes del Programa Educativo de GDN en la FCA de la Universidad Veracruzana campus Coatzacoalcos, periodo febrero – julio 2022.

Trabajo a futuro

Entre las recomendaciones que se le realiza a la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Veracruzana campus Coatzacoalcos se resaltan:

- Impulsar espacios para fomentar la participación activa de los estudiantes en la sociedad mediante diversas actividades en proyectos que aborden alguna problemática real en distintas áreas: salud, educación, jurídica, social, entre otros.
- Aplicar una vez al año el instrumento denominado “Construcción y Validación de un Instrumento para Evaluar las Características de la Responsabilidad Social Universitaria en Estudiantes Universitarios” para identificar el comportamiento de las variables de estudio en estudiantes de los cinco Programa Educativos que ofrece la Facultad: Gestión y Dirección de Negocios, Administración, Contaduría, Ingeniería de Software y Logística Internacional y Aduanas; los resultados permitirían de manera específica, implementar acciones en el Plan de Desarrollo de las Entidades Académicas (PLADEA) mismo que, se elabora cada 4 años y que involucre la participación de la comunidad universitaria.

Conclusiones

Con los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que en su mayoría de los estudiantes de la Licenciatura en Gestión y Dirección de Negocios tienen desarrolladas las siete características vinculadas a la Responsabilidad Social Universitaria ya que todas se encuentran por arriba de la media (2.5 por arriba); sin embargo, el “respeto a la diversidad” es la que sobresale de todas, la “conciencia” se posiciona en segundo lugar junto con “controversia con civilidad”, seguido del cambio, justicia social, compromiso y ciudadanía respectivamente. Con lo anterior, de manera general, se recomienda a las IES seguir generando acciones que fortalezcan la responsabilidad social de manera interna y externa, evaluar el resultado de esas acciones para su retroalimentación y mejora continua.

Referencias

- [1] J. A. Galicia Monroy, «Responsabilidad Social Universitaria: Su importancia en la formación,» *Pensamiento Crítico. Revista de Investigación Multidisciplinaria*, vol. 7, n° 12, 2020.
- [2] M. J. Martínez Usarralde, D. Gil Salom y D. Macías Mendoza, «Revisión sistemática de Responsabilidad Social Universitaria y Aprendizaje Servicio. Análisis para su institucionalización,» *Revista mexicana de investigación educativa*, vol. 24, n° 80, p. 150, 2019.
- [3] F. Vallaes y J. Álvarez Rodríguez, «Hacia una definición Latinoamericana de Responsabilidad Social Universitaria. Aproximación a las preferencias conceptuales de los universitarios,» *Revista Educación XXI*, vol. 22, n° 1, p. 93, 2019.
- [4] Universidad Autónoma de Chile, «efiua,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.efiua.com/rrss/responsabilidad-social-universitaria-rsu>. [Último acceso: 2022].
- [5] R. Hernández Sampieri, *Metodología de la investigación*, Sexta ed., México: McGrawHill, 2014, p. 104.
- [6] V. Bolio Domínguez y L. M. Pinzón Lizarraga, «Construcción y Validación de un Instrumento para Evaluar las Características de la Responsabilidad Social Universitaria en Estudiantes Universitarios,» *Revista Internacional de Educación para la Justicia Social*, vol. 8, n° 1, pp. 80-94, 2019.
- [7] H. Andrés Hernández y A. E. Pascual Barrera, «Validación de un instrumento de investigación para el diseño de una metodología de autoevaluación del sistema de gestión ambiental,» *Revista de investigación agraria y ambiental*, vol. 9, n° 1, 2018.

Formulación y evaluación de un proyecto de inversión para elaboración de uniformes deportivos de soccer

L. Peraza Pérez^{1*}, M. López Noriega^{2*}, A. Contreras Avila^{3*}, H. García Álvarez^{4*}, L. Zalthen Hernández^{5*},

¹Universidad Autónoma del Carmen, peraza_perez@hotmail.com

²Universidad Autónoma del Carmen, mdllopez@pampano.unacar.mx

³Universidad Autónoma del Carmen, Alonso.target@gmail.com

⁴Universidad Autónoma del Carmen, hgarcia@delfin.unacar.mx

⁵Universidad Autónoma del Carmen, zalthen@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

La valuación económica y financiera de los proyectos de inversión representa hoy en día una herramienta que permite tomar decisiones en las inversiones, utilizando técnicas y metodologías para formular y evaluar proyectos de nueva creación o bien el mejoramiento de estas. El presente documento tiene como objetivo evaluar la rentabilidad económica y financiera para la elaboración de uniformes deportivos de fútbol soccer. La metodología empleada inicialmente fue de carácter documental, mediante la identificación y análisis de la literatura existente sobre proyectos de inversión, posteriormente se transitó a una investigación práctica, siguiendo la estructura general de la evaluación de proyectos. Los resultados de este estudio muestran que la TIR arrojó el proyecto a cinco años con una inversión de \$1'116,091.65 fue de 57.98% la cual representa un valor mayor en comparación con la tasa de descuento de 30% y el VPN de \$947,721.81, con un periodo de recuperación descontado de 3 años.

Palabras clave: *Proyectos de inversión, Valor presente neto (VPN), Tasa interna de retorno (TIR), Factibilidad financiera.*

Abstract

The economic and financial valuation of investment projects today represents a tool that allows investment decisions to be made, using techniques and methodologies to formulate and evaluate newly created projects or their improvement. The objective of this document is to evaluate the economic and financial profitability for the elaboration of soccer sports uniforms. The methodology used initially was of a documentary nature, through the identification and analysis of the existing literature on investment projects, later it was transferred to a practical investigation, following the general structure of project evaluation. The results of this study show that the IRR for the five-year project with an investment of \$1,116,091.65 was 57.98%, which represents a higher value compared to the discount rate of 30% and the NPV of \$947,721.81, with a discounted payback period of 3 years.

Key words: *Investment projects, Net present value (NPV), Internal rate of return (IRR), financial feasibility.*

Introducción

El creciente auge que ha cobrado el deporte en el municipio de Carmen, en el estado de Campeche, ha permitido una mayor y mejor organización para todos los involucrados en el tema. Las autoridades del gobierno municipal han fomentado la creación de agrupaciones que, bajo el estandarte de la práctica de un deporte, brinden beneficios de bienestar y salud a la comunidad carmelita. Cada vez más agrupaciones organizan eventos deportivos para la integración y la participación de todos los interesados y son estos mismos los que buscan una identidad singular en la competición. Los uniformes deportivos ayudan en buena medida a crear dicha singularidad. Con mayor frecuencia los competidores locales buscan una imagen propia que los identifique en las distintas justas deportivas. Particularmente, los equipos de las diferentes ligas de fútbol soccer buscan lucir su sello propio, ya sea emulando a un conocido equipo nacional o internacional o creando su propia imagen, y este es un mercado que en la entidad muestra potencial de crecimiento comercial.

Competencia, producto, servicio, calidad y precio son solo unos de los diferentes factores que presentan áreas de oportunidad en el mercado, la comercialización de uniformes deportivos es una opción que arroja mejores

índices cuantitativos y cualitativos y que además fortalece la generación de empleo y por consiguiente contribuye a la mejora a la economía de la localidad. Dado lo anterior, el objetivo del presente documento es evaluar la rentabilidad económica y financiera de una tienda de artículos deportivos especializada en la venta de uniformes para fútbol soccer en Ciudad del Carmen, Campeche.

La evaluación económica y financiera se realiza mediante la elaboración de un proyecto de inversión el cual se entiende como “aquel que requiere recursos para su ejecución y que es evaluado financieramente para ver su factibilidad económica, contrastados con la viabilidad técnica, ambiental, social y jurídica” (párr. 1) [1], se entiende como la necesidad de inversión que representa un costo y que será evaluado en términos monetarios para su viabilidad.

Los proyectos de inversión pueden evaluarse con base en el tiempo que se recupera la inversión y su rentabilidad [2]. Las empresas sin importar su tamaño o giro persiguen la maximización del beneficio económico, mediante la toma de decisiones financieras a partir de diversos métodos de valoración de los proyectos de inversión. En este sentido, los métodos tradicionales de valuación como el método de Valor presente neto (VPN), la Tasa interna de retorno (TIR), Beneficio/costo (B/C), Periodo de recuperación (PB, por sus siglas en inglés *Payback*) tienen gran aceptación entre los empresarios e inversionistas [3]. El VPN es un método que consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, es decir, si este valor es positivo es recomendable que el proyecto sea aceptado [4]. En esencia, los flujos netos de efectivo se descuentan de la tasa mínima de rendimiento requerida y se suman, al resultado se le resta la inversión inicial neta tal como se mira en (1).

$$VPN = -I + \sum_{t=0}^n \frac{FNE}{(1+k)^t} \quad (1)$$

Dónde *VPN* es el valor presente neto, *I* es la inversión inicial, *FNE* es el flujo neto de efectivo, *k* es el costo de capital), *t* es el tiempo en que se genera el flujo de efectivo.

La Tasa interna de retorno (TIR) es la tasa donde el VPN es igual a cero, la suma de los FNE traídos a valor presente y descontado la inversión inicial, tal como se mira en (2), es decir, es la tasa en la que el proyecto no sufre ni pérdidas ni ganancias, o es donde el proyecto encuentra su punto de equilibrio [5].

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{FNE}{(1+TIR)^t} \quad (2)$$

Dónde *FNE* es el flujo neto de efectivo, *TIR* es la Tasa interna de retorno, *t* es el tiempo en que se genera el flujo de efectivo.

Asimismo, el B/C se define como “la relación entre los beneficios (flujos de efectivo neto positivos) y los costos (flujos de efectivo neto negativos) de un proyecto a valores actuales (valor presente). Si la relación B/C es mayor que la unidad, el proyecto deberá aceptarse, pues indica que sus beneficios son mayores que sus costos y, por tanto, es conveniente para el o los inversionistas, se dice que la inversión será rentable. Si por el contrario esta relación fuera menor que uno, se debe rechazar el proyecto, pues indica que sus costos son mayores a sus beneficios y, por tanto, el proyecto no es rentable [6].

El método de periodo de recuperación descontado se enfoca en descontar los flujos de efectivo, que esto significa la actualización de los flujos netos de efectivo a valor presente. Posteriormente se determina el tiempo que se necesita para que los flujos de efectivo descontados igualen la inversión inicial [7].

Metodología

Materiales

Se realizó una investigación inicialmente de carácter documental, mediante la identificación y análisis de la literatura existente sobre proyectos de inversión y su metodología, posteriormente se transitó a una investigación práctica, siguiendo la estructura general de la evaluación de proyectos [1], que consiste en definir los objetivos del proyecto de inversión, seguidos del desarrollo del estudio de mercado, técnico, administrativo-legal, ambiental y el análisis económico-financiero. En el estudio de mercado se desarrolla el perfil o gran visión en donde se identifica la idea del proyecto, el análisis del entorno, la detección y análisis de oportunidades para satisfacer necesidades, se define el producto, el análisis de la oferta y la demanda, y la determinación del precio, la siguiente etapa fue desarrollar el estudio técnico, que contempla la localización de la planta, capacidad instalada y descripción del proceso de producción, en la tercera etapa se realiza el estudio administrativo legal que considera la cultura organizacional y la estructura legal de la organización, en la cuarta etapa se desarrolla el estudio

ambiental, y en la última etapa, representa la aplicación de los métodos tradicionales de valuación como VPN, TIR, B/C, *Payback* descontado.

Desarrollo

La ropa creada para la práctica del deporte surge como una respuesta de innovación que permitiría y facilitaría un mejor desempeño deportivo al ofrecer comodidad y ventaja al deportista, aunque cabe aclarar que la vestimenta deportiva siempre ha estado condicionada por las reglas particulares de cada deporte y las restricciones morales de las distintas épocas y es evidente que el fútbol soccer no es la excepción.

El producto a comercializar son los uniformes deportivos para la práctica de fútbol soccer; dicho uniforme está compuesto por la playera o camiseta, el pantalón corto y las medias. Los uniformes deportivos serán de equipos de fútbol soccer de ligas nacionales e internacionales con la opción de ser personalizados en diseño a solicitud del cliente. Los uniformes deportivos son productos de consumo final ya que pueden ser utilizados y disfrutados después de su compra sin necesidad de un proceso industrial adicional.

En el caso de los uniformes deportivos, estos no son un producto innovador ni sustituto debido a que el mercado ya tiene cierta permanencia de productos similares; sin embargo, los consumidores están dispuestos a realizar el esfuerzo especial de una nueva compra.

Es una práctica habitual en algunos equipos de fútbol soccer que cada temporada o torneo los uniformes tengan adecuaciones en color, diseño o estampado, por mencionar algunos ejemplos y no necesariamente consideren el desgaste de los uniformes para su sustitución.

El Instituto de la Juventud de Carmen (INDEJUCAR) es un espacio de expresión, participación y vinculación para los jóvenes de Ciudad del Carmen, Campeche, dentro sus funciones se encuentra el llevar un registro de ligas de los diversos deportes que se practican en la localidad. La población se compone por los equipos de fútbol soccer inscritos en las ligas registradas por la INDEJUCAR (ver Tabla 1), por lo tanto, representan el mercado meta.

Tabla 1. Equipos de fútbol soccer en Ciudad del Carmen Campeche. Adaptado de [8].

Liga	Equipos
Liga de Fútbol Asociada Municipal Carmelita	66
Liga de Fútbol Asociada Empresarial	22
Liga de Fútbol Asociada Municipal Independiente	64
Liga de Fútbol Asociada "Hugo Sánchez Márquez"	83
Liga de Fútbol Asociada Libre Nocturna	16
Liga de Fútbol Asociación de la Manigua	18
Champañat	8
Liga de Fútbol Asociación de Veteranos	14
Liga Municipal de Fútbol Siete	44
Liga Municipal de Fútbol Siete del INDEJUCAR	52
Liga Municipal de Fútbol Rápido varonil y femenino del INDEJUCAR	39
TOTAL DE EQUIPOS REGISTRADOS	426

Al tener una población de 426 equipos registrados que existen en las diferentes ligas de fútbol en Ciudad del Carmen, Campeche, el tamaño de la muestra se determinó mediante la formulación de poblaciones finitas, tal como se mira en (3).

$$n = \frac{\sigma^2 U p q}{e^2 (U-1) + \sigma^2 p q} \quad (3)$$

Dónde σ es el grado de confianza con el que se va a trabajar (1.96) y que equivale a 95% de los casos, U es tamaño del universo, p es la probabilidad a favor, en este caso es 50%, q es la probabilidad en contra, que es complemento de la posibilidad a favor, por lo que al sumar ambas probabilidades resulta 100%; e es el error de estimación, que en este caso es de 5%. En la Tabla 2 se aprecia el muestreo por estratos del tipo probabilístico.

Tabla 2. Muestra por estratos.

Liga	Equipos	Muestra
Liga de Fútbol Asociada Municipal Carmelita	66	31
Liga de Fútbol Asociada Empresarial	22	10
Liga de Fútbol Asociada Municipal Independiente	64	30

Liga	Equipos	Muestra
Liga de Fútbol Asociada "Hugo Sánchez Márquez"	83	39
Liga de Fútbol Asociada Libre Nocturna	16	8
Liga de Fútbol Asociación de la Manigua	18	9
Champañat	8	4
Liga de Fútbol Asociación de Veteranos	14	7
Liga Municipal de Fútbol Siete	44	21
Liga Municipal de Fútbol Siete del INDEJUCAR	52	25
Liga Municipal de Fútbol Rápido varonil y femenino del INDEJUCAR.	39	18
TOTAL	426	202

A partir del estudio de mercado, se estima que la tasa de penetración de mercado sea de 14.08%, representado por la atención de 60 equipos de fútbol, con una proyección de crecimiento del 15.48% en los próximos años, dichos cálculos se sustentan en los objetivos de aumento de población atendida de la INDEJUCAR, el cual establece un incremento de 3 ligas para el año 2023, lo que representa 116 equipos nuevos, y de acuerdo a las encuestas se espera cubrir aproximadamente un 20% del mercado nuevo, reflejando un incremento de 24 equipos más respecto al año anterior.

De las encuestas aplicadas según la muestra se obtuvo que el 97.03% son hombres y el 2.97% son mujeres. El 48.02% compra uniforme dos veces al año, el 25.74% compra solo una vez al año, el 25.25% compra tres veces al año y el 0.99% no compra uniformes.

En la Tabla 3 se aprecia el comportamiento histórico de las ventas de uniforme, desde el año 2009 a 2021, y en la Tabla 4, se puede observar la proyección de la demanda de los próximos 5 años con un crecimiento promedio de las ventas en un 17.15%.

Tabla 3. Comportamiento histórico de las ventas de uniforme [9].

Año	Ventas	Año	Ventas	Año	Ventas
2009	\$ 2,535,629.00	2014	\$ 3,483,242.00	2019	\$ 4,781,482.00
2010	\$ 2,730,918.00	2015	\$ 3,805,147.00	2020	\$ 5,118,978.00
2011	\$ 3,250,331.00	2016	\$ 3,956,661.00	2021	\$ 5,419,488.00
2012	\$ 3,457,833.00	2017	\$ 4,349,756.00		
2013	\$ 3,007,363.00	2018	\$ 4,304,709.00		

Tabla 4. Proyección de la demanda.

Año	Ventas anuales esperadas
2022	\$ 2,448,000.00
2023	\$ 3,540,297.60
2024	\$ 4,179,574.20
2025	\$ 4,857,187.66
2026	\$ 5,110,391.06

Todo proyecto de inversión considera la capacidad instalada de la planta, la cual se entiende como la disponibilidad de infraestructura necesaria para producir determinados bienes o servicios [2], en la Tabla 5 se presenta la capacidad instalada del proyecto de inversión.

Tabla 5. Capacidad instalada de la planta.

Prendas Deportivas	Diario	Semanal	Mensual	Anual
UNIFORME COMPLETO (80 minutos)	12	72	312	3,744
PLAYERA (42 minutos)	22	132	572	6,864
SHORT (24 minutos)	40	240	1,040	12,480

Prendas Deportivas	Diario	Semanal	Mensual	Anual
MEDIAS (10 minutos)	48	288	1,248	14,976

A partir de la información presentada y la elaboración de presupuestos de materia prima directa, costos de producción y costos unitarios, se elaboran los estados financieros proyectados de los próximos cinco años, balance general y estado de resultados Tablas 6 y 7.

Tabla 6. Balance general.

ACTIVO CIRCULANTE		PASIVO CORTO PLAZO	
Caja	48,960.00	Proveedores	77,488.81
Bancos	690,206.71	Préstamos Bancarios Corto Plazo	
Clientes		Acreedores Diversos	
Inventario	77,488.81	Provisión ISR	146,218.52
		Provisión PTU	48,739.51
Total Circulante	816,655.52	Total Corto Plazo	272,446.83
ACTIVO NO CIRCULANTE		PASIVO LARGO PLAZO	
Mobiliario y Equipo Oficina	63,462.60	Préstamos Bancarios Largo Plazo	295,886.87
Mobiliario y Equipo de Producción	238,515.00		
Depreciación	-42,541.47	Total Largo Plazo Plazo	295,886.87
Gastos Constitución	10,000.00		
Seguros	30,000.00	CAPITAL CONTABLE	
Total No Circulante	299,436.13	Capital Social	350,000.00
		Utilidad del Ejercicio	197,757.95
		Total Capital Contable	547,757.95
TOTAL ACTIVO	1,116,091.65	TOTAL PASIVO + CAPITAL	1,116,091.65

Tabla 7. Estado de resultados.

Concepto	2022	2023	2024	2025	2026
Equipos promedio atendidos Anual	60	84	96	108	110
Ventas	\$2,448,000.00	\$3,540,297.60	\$4,179,574.20	\$4,857,187.66	\$5,110,391.06
(-) Costo de Ventas	\$881,691.53	\$1,043,879.20	\$1,146,584.65	\$1,252,085.10	\$1,303,374.62
Utilidad Bruta	\$1,566,308.47	\$2,496,418.40	\$3,032,989.55	\$3,605,102.56	\$3,807,016.44
(-) Gastos de Administración	\$363,005.66	\$364,507.81	\$376,389.53	\$385,783.51	\$397,022.44
(-) Gastos de Ventas	\$715,907.76	\$719,260.56	\$722,724.00	\$721,912.50	\$723,413.68
Utilidad de Operación	\$487,395.05	\$1,412,650.03	\$1,933,876.02	\$2,497,406.56	\$2,686,580.32
(-) Intereses	\$94,679.08	\$76,722.91	\$52,808.41	\$20,958.45	
Utilidad Antes de Impuestos	\$392,715.97	\$1,335,927.12	\$1,881,067.61	\$2,476,448.11	\$2,686,580.32
ISR (30%)	\$146,218.52	\$423,795.01	\$580,162.80	\$749,221.97	\$805,974.09
PTU (10%)	\$48,739.51	\$141,265.00	\$193,387.60	\$249,740.66	\$268,658.03
Utilidad Neta	\$197,757.95	\$770,867.11	\$1,107,517.20	\$1,477,485.49	\$1,611,948.19

La inversión total del proyecto es de \$1,116,091.65 y se refleja en el importe de los activos totales del Balance general (ver Tabla 6). La tasa de descuento del proyecto de inversión es de 30%, se construyó con financiamiento externo de una institución bancaria que cobra el 14.25% de interés anual fija, la inflación como parte del riesgo de la pérdida de valor de la inversión de 8.15% según datos del Banco de México y 7.6% de rendimiento esperado por los inversionistas.

La información proyectada permite, aplicar técnicas de valores de proyectos de inversión, como el VPN, que dada una tasa de descuento (30%), se calcula el valor presente de cada flujo proyectado de los siguientes cinco años y se descuenta la inversión inicial, tal como se mira en (4).

$$VPN = -1'116,091.65 + \frac{197,757.95}{(1+30\%)^1} + \frac{770,867.11}{(1+30\%)^2} + \frac{1'107,517.20}{(1+30\%)^3} + \frac{1'477,485.49}{(1+30\%)^4} + \frac{1'611,498.19}{(1+30\%)^5} = 947,721.81 \quad (4)$$

Para llevar a cabo el proyecto de inversión, se requiere una inversión de \$1'116,091.65 pesos, se considera una tasa de descuento del 30%, construida a partir de la tasa libre de riesgo, la inflación, las prima de: impago, liquidez y de vencimiento, se determina el VPN como se aprecia en la Tabla 8.

Tabla 8. Valor presente neto (tasa 30%).

Año	Valor presente
Inversión Inicial	-\$1'116,091.65
2022	\$152,121.50
2023	\$456,134.38
2024	\$504,104.32
2025	\$517,308.73
2026	\$434,144.51
VPN	\$947,721.81

La inversión y los activos tendrán un horizonte de tiempo de cinco años los cuales producirán diferentes flujos de efectivo. Al calcular el VPN, arroja un valor de \$947,721.81 (Tabla 8) dicho importe representa la ganancia adicional después de recuperar la tasa de rendimiento exigida por los inversionistas y el monto de la inversión inicial. El cálculo del B/C refleja la suma de los flujos netos de efectivo a valor presente dividido entre la inversión inicial, arrojando como resultado 1.84, interpretándose que por cada peso invertido en el proyecto se recupera \$1.84 de más, tal como se mira en (5).

$$B/C = \frac{2'063,813.44}{1'116,091.65} = 1.84 \quad (5)$$

Se determina la TIR del proyecto, resultando una tasa de 57.98%, lo que significa que el proyecto analizado, con los flujos proyectados a cinco años, supera en 27.98% la tasa de descuento utilizada de 30%.

$$0 = -1'116,091.65 + \frac{197,757.95}{(1+TIR)^1} + \frac{770,867.11}{(1+TIR)^2} + \frac{1'107,517.20}{(1+TIR)^3} + \frac{1'477,485.49}{(1+TIR)^4} + \frac{1'611,498.19}{(1+TIR)^5}$$

Para calcular el *Payback* descontado se consideran los flujos de efectivos a valor presente desde el periodo uno, hasta que la suma de los mismos iguale el desembolso inicial, tal como se mira en (6).

$$Payback \text{ descontado} = 3 + \frac{152,121.50 + 456,134.38 + 504,104.32 - 1'116,091.65}{517,308.73} = 3.007 \text{ años} \quad (6)$$

Resultados y discusión

La TIR que arrojó el proyecto a cinco años con una inversión de \$1'116,091.65 fue de 57.98%, que es mayor a la tasa de referencia (30%). Por tanto, esta técnica de evaluación de proyectos indica que el proyecto es factiblemente viable en términos financieros. El periodo de recuperación descontado del proyecto es de 3.007 años, es decir, 3 años y 3 días. Lo que significa que la recuperación de la inversión inicial se llevará a cabo en el mes número 37, una vez arrancado el proyecto y cumpliéndose los pronósticos de ventas y gastos.

Conclusiones

El Instituto del Deporte y la Juventud de Carmen (INDEJUCAR) adoptó el compromiso de impulsar el deporte en la comunidad del municipio de Carmen teniendo como resultado una amplia participación deportiva, con 426 equipos registrados actualmente en 11 ligas de fútbol y con planes de impulsar 3 ligas más para el año 2023.

La creciente tendencia al deporte, el interés por practicar un deporte de manera más organizada, el auge de la pertenencia a un gremio deportivo, son ejemplos, para crear interés sobre esta inversión. Pero más allá de estos puntos expuestos, el estudio de mercado y las proyecciones financieras aplicadas nos exponen un panorama alentador para apostar por este proyecto de inversión.

Con los resultados encontrados en la evaluación del proyecto y tras hacer las proyecciones de flujo de efectivo a cinco años se obtuvieron datos favorables que nos confirman que la tienda de uniformes deportivos es un proyecto

rentable. La recuperación de la inversión inicial para el proyecto es menor a dos años y los resultados arrojados en los aspectos financieros nos indican una total factibilidad para el desarrollo del proyecto en la localidad.

Referencias

- [1] G. Orellana, "Proyectos de inversión para la producción y comercialización del néctar de passiflora en el cantón", *Jipijapa*, 2011.
- [2] J. Morales, and A. Morales, *Proyectos de inversión: evaluación y formulación*, México: Mc Graw Hill, 2009.
- [3] R. Graham, and C. Harvey, "The theory and practice of corporate finance: Evidence from the field", *Journal of financial economics*, vol. 60, no. 2-3, pp. 187-243.
- [4] R. Johnson, and R. Melicher, *Administración financiera*, México: CECOSA, 2000.
- [5] S. Fernández, *Los proyectos de inversión*, Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica, 2007.
- [6] A. Hernández, and L. Rodríguez, *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de salsa picante a partir de rocoto verde y sachá tomate*. 2022.
- [7] S. Ross, W. Westerfield, J. Jaffe, and B. Jordan, *Finanzas corporativas*, México: Mc Graw Hill, 2018.
- [8] INDEJUCAR, *Informe anual 2021*, <http://indejucar.gob.mx>, 2022.
- [9] INEGI, *Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos*, 2021.

Tecnológico Nacional de México en Celaya

Estudio de factores de riesgo psicosocial en médicos residentes de hospital IMSS en zona bajo.

Eleazar de Jesús Ugalde Rodríguez¹, Mónica Lucía Reyes Berlanga², María Teresa de la Garza Carranza³
Salustia Teresa Cano Ibarra⁴, Laura Georgina Vázquez Lara de la Cruz⁵,
¹ Tecnológico Nacional de México en Celaya, m2103008@itcelaya.edu.mx, ² Instituto Mexicano del Seguro Social, monica.reyesb@imss.gob.mx, ³ Tecnológico Nacional de México en Celaya, teresa.garza@itcelaya.edu.mx, ⁴ Tecnológico Nacional de México en Celaya, teresa.cano@itcelaya.edu.mx, ⁵ Tecnológico Nacional de México en Celaya. laura.vazquez@itcelaya.edu.mx

Ingeniería administrativa – Gestión del talento humano

Resumen

El objetivo fue analizar variables asociadas al entorno laboral para medir el impacto del riesgo psicosocial de los médicos residentes de un hospital gubernamental de segundo nivel en el municipio de Irapuato, Guanajuato. Mediante un estudio de tipo mixto, no experimental y explicativo, empleando un cuestionario de 46 preguntas con base a la NOM-035-STPS-2018, factores de riesgo psicosocial en el trabajo-identificación, análisis y prevención. En el estudio participaron 108 médicos residentes de los cuales el 57% corresponden al género femenino y 43% al masculino, pertenecientes a cinco especialidades; anestesiología, cirugía, medicina familiar, medicina interna y pediatría. Se empleó un instrumento de recolección de 46 preguntas mediante la escala de Likert con lo que los resultados indicaron que el 43% de los médicos residentes presentan un riesgo psicosocial muy alto, mientras que 39% presentaron riesgo psicosocial alto.

Palabras clave: Riesgo psicosocial, Médicos residentes, NOM-035-STPS-2018.

Abstract

The objective was to analyze variables associated with the work environment to measure the impact of the psychosocial risk of medical intern residents of a second level government hospital in the municipality of Irapuato, Guanajuato. Through a mixed, non-experimental and explanatory study, using a questionnaire with 46 questions based on NOM-035-STPS-2018, psychosocial risk factors at work-identification, analysis and prevention. A total of 108 medical residents participated in the study, of which 57% were female and 43% male, belonging to five specialties; anesthesiology, surgery, family medicine, internal medicine and pediatrics. A 46-question collection instrument was implemented using the Likert scale. Results indicated that 43% of the medical residents presented a very high psychosocial risk, while 39% presented a high psychosocial risk.

Key words: Psychosocial risk, medical intern residents, NOM-035-STPS-2018.

Introducción

Un médico residente se encuentra en un periodo formativo de desarrollo profesional por medio de destrezas, valores y conocimientos que adquirirá mediante teoría y práctica hospitalaria dentro de la especialidad que consideró adecuada para su formación, la cual pertenece a una institución de la que se desprenderán comportamientos sociales, cultura de la institución y regulaciones que influirán en la percepción del entorno organizacional, el clima organizacional, la relación con compañeros, maestros y pacientes que el residente forje sobre este proceso de formación. [1] El residente experimentará situaciones de presión y estrés debido a la naturaleza de las actividades, el entorno organizacional y los diversos factores psicosociales con los que convivirá.

La presente investigación tiene un antecedente sin precedentes en el campo de la medicina que ha llevado a los hospitales al borde del colapso debido a la cantidad de pacientes infectados por el virus denominado SARS-CoV-2 causante de la enfermedad COVID-19, la cual dio origen a una pandemia mundial desde el mes de noviembre del 2019, por lo que los residentes que ingresaron al hospital en aquel año han experimentado mayores niveles de exigencia debido al alto flujo de pacientes que fueron tratados. [2]

Si bien, los factores de riesgo psicosocial no son un fenómeno que atañe exclusivamente al entorno hospitalario se han desarrollado estrategias de atención a este medio, debido a la particularidad del entorno organizacional de los trabajadores del sector salud.

Entidades como la Organización Internacional del Trabajo OIT, Consejo internacional de enfermeras CIE, la Organización Mundial de la Salud OMS e Internacional de Servicios Públicos ISP han generado, mediante el programa conjunto sobre la violencia laboral en el sector de la salud aportaciones trascendentes como el documento “Directrices marco para afrontar la violencia laboral en el sector salud” en el podemos encontrar que el sector salud puede aglomerar la cuarta parte de violencia que ocurre en el trabajo y que la violencia laboral afecta a más de la mitad de los trabajadores dedicados a la salud, lo cual da como resultado entornos con poca eficiencia y menoscabo en percepción de calidad de los servicios. [3]

Durante décadas se han analizado afecciones en el personal de salud relacionadas a la respuesta de agentes estresores del entorno laboral como el denominado síndrome de “Burnout” que fue descrito por primera vez en la década de los setenta y que afecta a los profesionales de la salud, los cuales desarrollan agotamiento físico, falta de motivación e interés por sus actividades profesionales aunadas a trastornos de ansiedad y depresión. En 1982 Maslach en conjunto con su colega Michel P. Leiter desarrollaron el Maslach Burnout Inventory (MBI) que cuatro años después de su creación se posicionó como el instrumento más relevante para diagnosticar este padecimiento. [4]

Fue el año 2019 que la Organización Mundial de Salud fijó una postura con respecto a esta patología llevándola a la clasificación internacional de enfermedades definiéndola como el estado de estrés crónico ocurrido en el centro de trabajo, sin embargo, no está aún clasificado como una condición médica. [5]

Podemos inferir que existen metodologías que afrontan el problema de la violencia laboral en el entorno médico, sin embargo, las organizaciones del sector hospitalario deben desarrollar modelos para recolectar datos y monitorear los riesgos psicosociales. Se debe generar una cultura preventiva enfocada al cuidado de la salud de los empleados mediante el desarrollo de políticas, objetivos y planes estratégicos para lograr ese cometido.

Un factor de riesgo psicosocial en el trabajo debe entenderse como un elemento cualitativo derivado de la estructura organizacional, la cultura y el clima laboral que alude a una causa o circunstancia y que tiene la posibilidad de provocar una enfermedad física o mental derivada del entorno laboral, el clima organizacional, las funciones del puesto de trabajo, la modalidad de jornada laboral y los acontecimientos traumáticos o acontecimientos de violencia experimentados en el trabajo. [6] Según el comité mixto de la OIT – OMS de Medicina de Trabajo (1984) los factores psicosociales se definen como un concepto doble donde se valoran los aspectos positivos y negativos y la repercusión de estos en la salud de los trabajadores. [7]

En México el reconocimiento oficial de un plan de monitoreo de los factores de riesgo psicosocial surge como un anteproyecto normativo en el año 2016 y es oficializado en octubre de 2018 como parte del compendio de normas oficiales mexicanas (NOM) pertenecientes a la secretaria del trabajo y previsión social (STPS). Es así como en el segundo semestre de 2018 entra en vigor la NOM 035 de identificación, análisis y prevención de riesgos psicosociales. El objetivo de la NOM 035 es proteger la salud e integridad de los trabajadores mexicanos, lo cual beneficia a colaboradores y organizaciones, ya que un buen ambiente laboral reduce la rotación de personal, el

ausentismo y la falta de motivación, así mismo incentivan el compromiso laboral que se traduce en sentido de pertenencia e incremento de la productividad. Según la constitución de OMS, la salud no se define únicamente como la ausencia de padecimientos, ya que dicha definición debe incluir el bienestar físico, mental y social del individuo. [8]

La NOM-035-STPS es de cumplimiento obligatorio, su incumplimiento es sancionable, la Ley Federal del Trabajo fija multas de 250 a 5 mil unidades de salario mínimo, El marco de referencia de esta normativa es el Reglamento Federal de Seguridad y Salud en el Trabajo y la misma NOM 035, los cuales presentan un entorno organizacional favorable para promover el sentido de pertenencia de los empleados; la comunicación efectiva, descripción y delimitación y distribución adecuada de las actividades de los empleados, así como el reconocimiento sobre el desempeño a los colaboradores. [2]

El objetivo de la investigación consistió en analizar variables asociadas al entorno laboral para medir el nivel de riesgo psicosocial de los residentes del HGZ MF 2 en Irapuato, Guanajuato, lo anterior conforme a lo establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, factores de riesgo psicosocial en el trabajo-identificación, análisis y prevención.

Metodología

Materiales

Población de estudio

El presente proyecto es de tipo mixto, no experimental, transversal y explicativo. Podemos afirmar que el estudio es realizado con el método mixto, es decir contempla variables cuantitativas como los valores asignados a las respuestas que permitirán tabular los resultados y cualitativas como las categorías, los dominios, las dimensiones y las preguntas del cuestionario. Este proyecto fue autorizado por el comité de ética del HGZ MF 2 en Irapuato, Guanajuato y la coordinación clínica de educación e investigación en salud para el instituto mexicano del seguro social, cumple con lo dispuesto por el reglamento de la ley general de salud en materia de investigación para la salud artículo 13, el cual hace referencia a mantener la dignidad el bienestar y la protección de los derechos de los individuos que sean partícipes de una investigación con fines de estudio.

El universo de trabajo fue de 108 médicos residentes del hospital general de zona con medicina familiar en el municipio de Irapuato, Guanajuato, México pertenecientes a cinco especialidades conforme a la siguiente tabla,

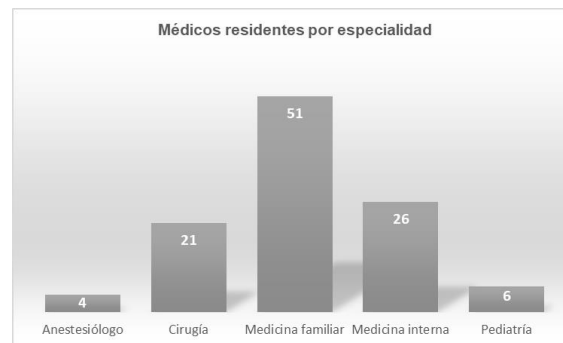


Gráfico 1. Distribución de médicos residentes por especialidad.

Los criterios de inclusión fueron limitados a médicos residentes del HGZ 2 de Irapuato, Guanajuato, que se encontraban inscritos entre los meses de enero y mayo de 2022, mientras que los criterios de exclusión consistieron en personal médico o administrativo que no poseía la clasificación o nombramiento de médico residente del hospital citado.

Instrumento de recolección

La recolección de datos se realizó mediante un cuestionario compuesto por 46 preguntas adaptadas al entorno hospitalario, con cinco respuestas posibles, el encuestado debía seleccionar solo aquella que se apegará a su percepción. Para determinar las respuestas se empleó la escala actitud de Likert, mediante las siguientes afirmaciones para todos los reactivos; Siempre, casi siempre, algunas veces, casi nunca, nunca

El cuestionario está dividido en cinco categorías: Ambiente de trabajo, factores propios de la actividad, falta de control sobre el trabajo, liderazgo y relaciones en el trabajo y organización del tiempo trabajo. Así mismo se incluyen ocho dominios: Carga de trabajo, condiciones en el ambiente de trabajo, falta de control sobre el trabajo, interferencia en la relación trabajo - familia, jornada de trabajo, liderazgo, relaciones en el trabajo y violencia.

Para su validación, cada cuestionario es revisado a fin de sumar los puntajes obtenidos del total de las preguntas, así mismo se realiza la sumatoria por categoría y por dominio a fin de clasificar el total de punto en cinco categorías de riesgo psicosocial; Nulo, bajo, medio, alto y muy alto.

El presente instrumento tiene una confiabilidad con una Alpha de Cronbach de 0,800 con lo cual se infiere que tiene validez aceptable.

Preparación

Según la NOM-035-STPS-2018 el objetivo por el cual las organizaciones deben aplicar a sus empleados instrumentos de monitoreo para conocer el nivel de riesgo asociado a los factores de riesgo psicosocial es identificar, analizar y prevenir dichos factores, aunado a la promoción de entornos organizacionales óptimos en los centros de trabajo y atender las practicas opuestas como lo es la violencia laboral, la norma oficial mexicana rige en todo el territorio nacional y es aplicable a todos los centros de trabajo. [9]

El entorno organizacional se encuentra compuesto por diversos conceptos uno de ellos es el denominado clima organizacional, que son aquellas características internas o externas que perciben los colaboradores de forma explícita e implícita con una temporalidad determinada, ya que este suele cambiar acorde a las circunstancias, áreas y temporadas, es decir el clima percibido durante la época de aguinaldo o bonos será diferente a aquel percibido en un cierre mensual o una auditoria. A su vez el clima organizacional es único para cada organización ya que su significado recae en las percepciones compartidas de los miembros de un equipo.

Otro componente clave del entorno organizacional es el comportamiento organizacional, según Hellriegel y Slocum (2009) es el estudio de los procesos, las prácticas y la efectividad que estas propician en los grupos e individuos que componen una organización. [10] Así mismo los autores consideran que la respuesta de las organizaciones para anticipar y manejar a los cambios que se generen en su entorno determinará su efectividad a largo plazo. Por lo que la aplicación de un instrumento que permita conocer el riesgo psicosocial que existe en la organización permitirá que se gesten políticas y procedimientos estratégicos a fin de atender los requerimientos que se obtengan mediante dicho instrumento de monitoreo.

La presente investigación da cumplimiento a una de las obligaciones del patrón conforme con lo estipulado en la NOM-035-STPS-2018 que es llevar a cabo el monitoreo, análisis e identificación de factores de riesgo psicosocial, para ello se empleó un cuestionario con base en Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, factores de riesgo psicosocial en el trabajo-identificación, análisis y prevención. [9] NOSACQ-50-Spanish-Colombia (2020) [11], Bustamante-Ubilla MA, Lapo-Maza MC, Grandón Avendaño ML. Creación de un cuestionario de clima organizacional para hospitales de alta complejidad, Chile. (2016) [12], Instrumento de medida de Koys & Decottis (1991). [13] Satisfacción laboral y ISTAS21: Versión en lengua castellana del cuestionario psicosocial de Copenhague COPSQ (2005) De S. Moncadaa, B, C. Llorensa, C, A. Navarrod, T. S. Kristensene [14].

La legislación mexicana permite el uso de cuestionarios adaptados a cada centro de trabajo siempre y cuando cumplan con los requerimientos estadísticos, así como con las categorías y dominios estipulados para identificar y analizar los factores de riesgo psicosocial, para lo cual se deberán de incluir los siguientes puntos.



Figura 1. Puntos que deben incluir los cuestionarios para medir riesgos psicosociales en México, según la NOM-035-STPS.

Desarrollo

El cuestionario se aplicó en el Hospital general de zona con medicina familiar No. 2 en Irapuato, Guanajuato, por medio de la plataforma digital Microsoft forms a fin de que los médicos residentes pudieran hacer uso de dispositivos electrónicos para recabar los datos.

La investigación se realizó en apego al artículo 120 del reglamento de la ley general de salud en materia de investigación para la salud, dotando al investigador principal el beneficio de publicar informes parciales se da cumplimiento al artículo 3 del mismo reglamento, ya que contribuye a la prevención y control de problemas de salud. (20), así como al artículo 14, fracción V. contando con el conocimiento informado del sujeto a quien se realizará la investigación. respetando la confidencialidad de los individuos que participan de este estudio.

Resultados y discusión

Primeros resultados

De los 108 médicos residentes encuestados se contó con la participación de 62 personas del género femenino y 46 del masculino, pertenecientes a 21 entidades federativas de la república mexicana, siendo tres las entidades que más médicos sumaron, encabezadas por Guanajuato con 50, seguidas de Michoacán y Jalisco con 15 cada una.

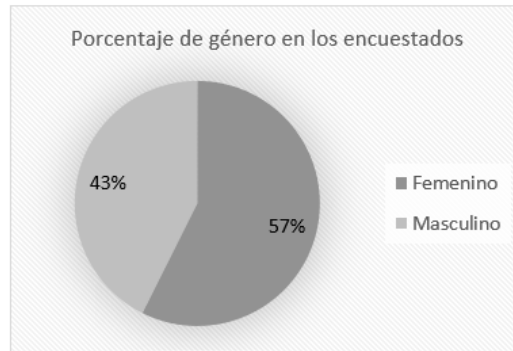


Gráfico 2. Género de los médicos residentes que participaron en la encuesta.

En cuanto al estado civil, el 71% eran solteros, 24% casados y el 5% unión libre, con respecto a los dependientes económicos 68 encuestados manifestaron no tener dependientes económicos, 15 tienen 1 dependiente, 17 con 2 dependientes y 8 respondientes tienen 3 o más. En relación con las edades de los participantes presentaron un rango de los 27 a los 41 años, con un promedio de 33.7 y una desviación estándar de 5.06.



Gráfico 3. Porcentaje por estado civil de los encuestados.

Para realizar el análisis de datos se empleó la metodología propuesta por la Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, en su guía de referencia II "Identificación y análisis de los factores de riesgo psicosocial" asignando valores numéricos a las respuestas cualitativas de las 46 preguntas que conformaron el cuestionario conforme a la siguiente tabla

Pregunta	Opciones de respuesta y valor numérico				
	Siempre	Casi siempre	Algunas veces	Casi nunca	Nunca
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46	4	3	2	1	0
18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33	0	1	2	3	4

Tabla 1. Clasificación numérica de la escala de Likert por grupos de preguntas.

Del total de la población, es decir 108 médicos residentes que participaron en el proyecto para analizar el nivel de riesgo psicosocial, se obtuvo que el 43%, es decir 47 médicos residentes presentan un riesgo psicosocial muy alto, 39% presentaron riesgo psicosocial alto, 17% medio y el 1% nulo.

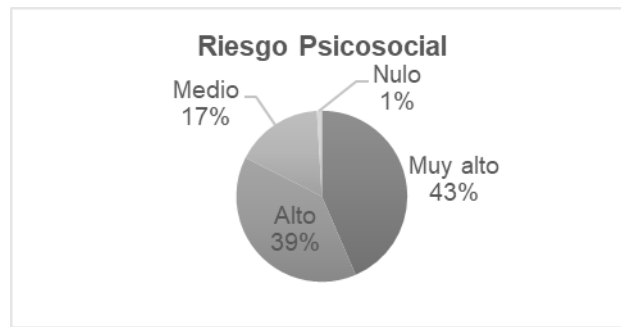


Gráfico 4. Riesgo Psicosocial en médicos residentes encuestados.

Segundos resultados

Calificación de dominio

Para determinar esta calificación se realizó la segmentación de los 46 reactivos en 8 dominios, por lo que se tomó como referencia la “guía II” de la NOM-035_STPS y se integraron las preguntas conforme la siguiente tabla.

Dominio	Preguntas por dominio
Carga de trabajo	13
Condiciones en el ambiente de trabajo	3
Falta de control sobre el trabajo	7
Interferencia en la relación trabajo- familia	2
Jornada de trabajo	2
Liderazgo	5
Relaciones en el trabajo	6
Violencia	8
Total general	46

Tabla 2. Segmentación de preguntas por dominio.

Los resultados se obtuvieron mediante la siguiente metodología, en donde se asignó un coeficiente a una variable cualitativa denominada dominio a fin de ponderar el nivel de riesgo psicosocial de los encuestados conforme a la sumatoria del puntaje obtenido por las preguntas que conforman cada dominio.

Dominio	Nulo o despreciable	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Riesgo					
Carga de trabajo	$Ccat < 12$	$12 < Cdom < 16$	$16 < Cdom < 20$	$20 < Cdom < 24$	$Cdom > 24$
Condiciones en el ambiente de trabajo	$Ccat < 3$	$3 < Cdom < 5$	$5 < Cdom < 7$	$7 < Cdom < 9$	$Cdom > 9$
Falta de control sobre el trabajo	$Ccat < 5$	$5 < Cdom < 8$	$8 < Cdom < 11$	$11 < Cdom < 14$	$Cdom > 14$
Interferencia en la relación trabajo- familia	$Ccat < 1$	$1 < Cdom < 2$	$2 < Cdom < 4$	$4 < Cdom < 6$	$Cdom > 6$
Jornada de trabajo	$Ccat < 1$	$1 < Cdom < 2$	$2 < Cdom < 4$	$4 < Cdom < 6$	$Cdom > 6$
Liderazgo	$Ccat < 3$	$3 < Cdom < 5$	$5 < Cdom < 8$	$8 < Cdom < 11$	$Cdom > 11$
Relaciones en el trabajo	$Ccat < 5$	$5 < Cdom < 8$	$8 < Cdom < 11$	$11 < Cdom < 14$	$Cdom > 14$
Violencia	$Ccat < 7$	$7 < Cdom < 10$	$10 < Cdom < 13$	$13 < Cdom < 16$	$Cdom > 16$

Tabla 3. Coeficiente para calificar preguntas por dominio.

Así pues, se obtuvo en el dominio “carga de trabajo” que un 95% de los encuestados presentaron un riesgo psicosocial nulo y el 5% bajo, en el siguiente dominio “Condiciones en el ambiente de trabajo” se obtuvo que el 42% presento un riesgo psicosocial medio, 29% bajo, 22% alto, 6% muy alto y 1% nulo, en el dominio “falta de control sobre el trabajo” el 48% de los médicos residentes presentaron un riesgo psicosocial muy alto, 26% alto, 18% medio, 6% bajo y 2% nulo, en el siguiente dominio “interferencia en la relación trabajo-familia” se encontró que el 36% presentó un riesgo psicosocial alto, 33% muy alto, 26% medio, 3% bajo y 2% nulo, para el dominio “jornada de trabajo” la encuesta arrojó que el 40% presentó un riesgo psicosocial alto, el 36% muy alto, 19% medio, 2% bajo y 3% nulo, el dominio “liderazgo” se obtuvo un riesgo psicosocial medio del 32%, alto con 19%, muy alto con 20%, bajo con 14% y nulo con 15%, por su parte en el dominio “relaciones en el trabajo” el 66% de las respuestas se concentro en riesgo psicosocial muy alto, 21% alto, 11% medio, 2% bajo y 0% nulo, finalmente en el dominio “violencia” el 37% presentó un riesgo psicosocial nulo, 20% bajo, 17% medio, 16% muy alto y 10% muy alto.

Dominio / Riesgo psicosocial	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Nulo
Carga de trabajo	0	0	0	5	103
Condiciones en el ambiente de trabajo	7	24	45	31	1
Falta de control sobre el trabajo	52	28	19	7	2
Interferencia en la relación trabajo- familia	36	39	28	3	2
Jornada de trabajo	39	43	21	2	3
Liderazgo	20	22	35	15	16
Relaciones en el trabajo	71	23	12	2	0
Violencia	17	11	18	22	40

Tabla 4. Resultados por dominio.

Terceros resultados

Calificación por categoría

Para obtener la calificación por categoría se asignó un valor numérico a cada respuesta del cuestionario de acuerdo con la tabla 1, posteriormente se segmentó en categorías de conformidad con la metodología planteada por la NOM-035-STPS mediante su guía de referencia II como se muestra en la siguiente tabla.

Categoría	Preguntas por categoría
Ambiente de trabajo	3
Factores propios de la actividad	20
Liderazgo y relaciones en el trabajo	19
Organización del tiempo de trabajo	4
Total general	46

Tabla 5. Segmentación de preguntas por categoría.

A continuación, se procedió a asignar un valor cualitativo a los resultados numéricos para clasificar el nivel de riesgo psicosocial de acuerdo con la siguiente tabla.

Riesgo Categoría	Nulo o despreciable	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Ambiente de trabajo	Ccat<3	3< Ccat <5	5< Ccat <7	7< Ccat <9	Ccat >9
Factores propios de la actividad	Ccat<10	10< Ccat <20	20< Ccat <30	30< Ccat <40	Ccat >40
Organización del tiempo de trabajo	Ccat<4	4< Ccat <6	6< Ccat <9	9< Ccat <12	Ccat >12
Liderazgo y relaciones en el trabajo	Ccat<10	10< Ccat <18	18< Ccat <28	28< Ccat <38	Ccat >38

Tabla 6. Coeficiente para calificar preguntas por categoría.

Con la metodología anterior se obtuvo que en la categoría denominada “ambiente de trabajo” el 42% presentó un riesgo psicosocial medio, el 29% bajo, el 22% alto, 6% muy alto y el 1% nulo. En la “categoría Factores propios de la actividad” el 80% de los médicos residentes se clasificaron en riesgo psicosocial muy alto, mientras que el 18% en alto, 1% medio, 1% en nulo y 0% en bajo. En la categoría “liderazgo y relaciones en el trabajo” el 44% de los encuestados se clasificaron como riesgo psicosocial medio, el 19% alto, 18 muy alto, 15% bajo y 4% nulo. En la última categoría que se conoce como “organización del tiempo trabajo” los residentes obtuvieron los siguientes porcentajes de clasificación del riesgo psicosocial; 34% medio, 27 muy alto, 27% alto, 8% bajo y 4% nulo. A continuación, se muestra la tabla de acuerdo con las categorías y la clasificación de riesgo de los 108 encuestados.

Categoría / Riesgo psicosocial	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Nulo
Ambiente de trabajo	7	24	45	31	1
Factores propios de la actividad	87	19	1	0	1
Liderazgo y relaciones en el trabajo	19	21	48	16	4
Organización del tiempo de trabajo	29	29	37	9	4

Tabla 7. Resultados por categoría.

Últimos resultados

Se realizó la segmentación de datos para analizar variables demográficas en torno a los resultados obtenidos con base en la encuesta de factores de riesgo psicosocial, por lo que de las 62 muestras pertenecientes al sexo femenino el 42% presentó riesgo psicosocial alto, 39% muy alto y 19% medio, de los 46 masculinos encuestados el 50% fue catalogado en riesgo psicosocial muy alto, el 35% en alto, 13% medio y 2% nulo. Dentro de las especialidades los médicos residentes de anestesiología presentaron las siguientes cifras; 50% riesgo psicosocial muy alto, 25% alto y 25% medio, por parte de los médicos residentes de cirugía el 48% presentó un riesgo psicosocial alto, el 28% muy alto, y el 24% medio. En medicina familiar el 47% presentó riesgo psicosocial muy alto, 39% alto, 12% medio y 2% nulo. En medicina interna el 42% presentó riesgo psicosocial muy alto, el 42% alto y el 16% medio, por último, en pediatría el 67% fue catalogado como con muy alto riesgo psicosocial y el 33% como medio riesgo. En la segmentación por rango de edad se obtuvieron los resultados que se muestran en la siguiente tabla.

Rango de edad /Riesgo psicosocial	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Nulo
24 a 29	28	25	12	0	0
30 a 39	18	16	3	0	1
40 a 49	1	1	3	0	0
Total	47	42	18	0	1

Tabla 8. Resultados por edad.

Trabajo a futuro

El trabajo a futuro consistirá en realizar la presentación de los resultados obtenidos al personal administrativo del hospital general de zona con medicina familiar no. 2 en Irapuato, Guanajuato a fin de que puedan desarrollar metodologías y planes de acción con el objetivo de establecer un ambiente óptimo en el centro de trabajo en pro de la estabilidad laboral de los médicos residentes y el servicio que estos brindan a la población afiliada a esta unidad de salud pública.

Conclusiones

Los resultados del presente estudio nos indican que mediante la evaluación individual el 82% de los médicos residentes del hospital general de zona con medicina familiar no. 2 en Irapuato, Guanajuato, presentan niveles altos y muy altos de factores de riesgo psicosocial en el entorno laboral por lo que se deben implementar metodologías y planes de acción encaminados a atender los cuatro dominios que han sido detectados como de riesgo alto y muy alto, estos son; relaciones en el trabajo, interferencia en la relación trabajo- familia, jornada de trabajo y falta de control sobre el trabajo, esta última perteneciente a la categoría "Factores propios de la actividad que también se detectó con riesgo psicosocial por parte del 80% de los médicos residentes encuestados. El alto índice de riesgo psicosocial es una respuesta física y psicológica a los numerosos escenarios de presión laboral que experimenta diariamente un médico residente, al paso del tiempo los denominados factores de riesgo psicosocial llevan al individuo a desarrollar enfermedades crónicas o síndromes como el denominado "burnout" por ello la importancia del monitoreo constante y la ejecución de protocolos que ataquen esta problemática laboral.

Agradecimientos

Agradezco el apoyo brindado a cada uno de los autores que participaron en este proyecto, en especial a: Dra. Mónica Lucia Reyes Berlanga y Dra. María Teresa de la Garza Carranza por su apoyo y mentoría.

Referencias

- [1] F. L. Rodríguez Weber y J. L. Ramírez Arias, «¿Tenemos claro lo que es la residencia médica?,» Acta médica Grupo Ángeles, vol. 14, n° 3, pp. 183-184, 2016.
- [2] CNDH, «Retos de implementación de la NOM-035 en el contexto de pandemia,» CNDH, 2020.
- [3] OIT-OMS. Organización Internacional del Trabajo-Organización Mundial de la, Directrices marco para afrontar la violencia laboral en el sector salud, Ginebra:: OIT, 2002.
- [4] B. Sánchez Jiménez , M. Flores Ramos , R. Sámano , A. L. Rodríguez Ventura y D. Chinchilla Ochoa , «Factores relacionados a la presencia del síndrome de burnout en una muestra de enfermeras del sector salud, Ciudad de México,» Revista Salud Pública y Nutrición, vol. 17, n° 3, pp. 1-8, 2018.
- [5] World Health Organization, «World Health Organization,» 28 05 2019. [En línea]. Available: <https://www.who.int/news/item/28-05-2019-burn-out-an-occupational-phenomenon-international-classification-of-diseases>. [Último acceso: 28 06 2022].
- [6] C. Cázares Sánchez, «La inclusión del salario emocional en México Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018. Factores de riesgo psicosocial en el trabajo-Identificación, análisis y prevención,» Revista Cambios y Permanencias, vol. 11, n° 1, pp. 602-624, 2020.
- [7] OMS, «Factores psicosociales en el trabajo : naturaleza, incidencia y prevención,» OMS, Ginebra, 1984.
- [8] OMS, «Organización mundial de la salud,» 31 12 2014. [En línea]. Available: <https://apps.who.int/gb/bd/PDF/bd48/basic-documents-48th-edition-sp.pdf>. [Último acceso: 30 06 2022].
- [9] Secretaría del Trabajo y Previsión Social., «Norma Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, Factores de riesgo psicosocial en el trabajo-Identificación, análisis y prevención.,» 2018.
- [10] D. Hellriegel. y. J. W. Slocum. Jr, Comportamiento organizacional, 12a. ed., Cengage Learning Editores, 2009.
- [11] Grupo de trabajo nórdico de especialistas en el entorno de trabajo, «Cuestionario Nórdico sobre seguridad en el trabajo,» Consejo de Ministros Nórdico, 2020.
- [12] M.A Bustamante-Ubilla, M. L. Grandón Avendaño, M del C. Lapo Maza «Caracterización del clima organizacional en hospitales de alta complejidad en Chile,» Estudios gerenciales, vol. 13, n° 137, pp. 432-440, 2015.
- [13] K. &. Decottis, «<https://profesoredsonrosalesuptm.files.wordpress.com/>,» 1991. [En línea]. Available: <https://profesoredsonrosalesuptm.files.wordpress.com/2016/06/instrumento-clima-organizacional.pdf>. [Último acceso: 10 12 2021].
- [14] S. Moncadaa, C. Llorens, , A. Navarro, T. S. Kristensen, «ISTAS21: Versión en lengua castellana del cuestionario psicosocial de Copenhague (COPSOQ),» 2005. [En línea]. [Último acceso: 28 08 2022].

Situación del Turismo de Reuniones en México

Pulido-Balandra E.M.¹, Balandra-Aguilar, L. E.^{2*}, Martínez-Ramírez, V.³

¹Universidad de las Américas de Puebla, elena.pulidoba@udlap.mx, ² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Comitán, lorena.ba@comitan.tecnm.mx, ³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Puebla, violeta.martinez@puebla.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

El turismo en México representa casi el 7 % de Producto Interno Bruto (PIB) y el de reuniones para 2019 representó el 1.5% del PIB, la asistencia a conferencias, eventos y congresos en el que en el mismo lugar encuentras personas con intereses en común se le conoce como turismo de reuniones y México es un destino que cuenta con ciudades desarrolladas con las comodidades requeridas, el turismo de reuniones se realiza fuera de las actividades cotidianas, las estadías son de al menos 24 horas y cuenta con todo lo que requiere una reunión.

Existen ciudades en México que cuentan con la infraestructura necesaria para ser atractivas para organizar este tipo de eventos como Ciudad de México, Cancún, Guadalajara, Mérida y Puebla. Estas ciudades cuentan con foros, hoteles y aeropuertos, además tienen atractivos que pueden complementar la agenda de los participantes.

Palabras clave: Reuniones, convenciones, conferencias y Exhibiciones.

Abstract

Tourism in Mexico represents almost 7% of Gross Domestic Product (GDP) and meetings for 2019 represented 1.5% of GDP, attendance at conferences, events and congresses in which you find people with common interests in the same place It is known as meeting tourism and Mexico is a destination that has developed cities with the required amenities, meeting tourism is carried out outside of daily activities, stays are for at least 24 hours and it has everything that a business requires. meeting.

There are cities in Mexico that have the necessary infrastructure to be attractive for organizing this type of event, such as Mexico City, Cancun, Guadalajara, Mérida and Puebla. These cities have forums, hotels and airports, they also have attractions that can complement the agenda of the participants.

Key words: Meetings, conventions, conferences and exhibitions.

Introducción

México con su gran variedad de comida, música y cultura, caracterizado en un ambiente caluroso y agradable, lo hace uno de los principales destinos turísticos. A la industria de turismo se le atribuye cerca del 7% del PIB nacional. [1]

Para la Asociación Internacional de Congresos y Convenciones en 2016, México ocupó el 5º lugar en turismo de reuniones en América Latina, así como el lugar 21 a nivel mundial. [2]

Dentro de las actividades del turismo MICE (Meetings, Incentive, Conference, Exhibitions) se realizan actividades laborales asistiendo a exposiciones, conferencias, reuniones y congresos, este tipo de turismo genera una derrama aproximada de 25 millones de dolares anuales, los principales destinos para el turismo de reuniones en México son [3]:

- **Ciudad de México.** Es sede de zonas corporativas como Santa Fe, Polanco y Reforma, cuenta con más de 67 unidades de negocios entre centros de exposiciones, convenciones y auditorios, con un aproximado de 650 hoteles, de los cuáles casi el 25% son de 4 estrellas o superiores y el aeropuerto internacional de la ciudad de México es considerado como el mas importante en América Latina.
- **Cancún.** Cuenta con hermosas playas, más de 360 hoteles y un aeropuerto internacional.
- **Guadalajara.** Es la segunda ciudad más grande de México, cuenta con la expo Guadalajara, un recinto con capacidad para 50 mil personas y un aeropuerto grande.

El reporte 2019 de la International Congress and Convention Association (ICCA) coloca a México en la posición 23 con 197 reuniones y además la posición por ciudades en el ranking del ICCA, Ciudad de México en la posición 37, Cancún en el lugar 106 y Guadalajara en el lugar 191, se tiene además a Mérida y Puebla en el lugar 221. [4] El presente trabajo tiene como objetivo describir la situación de la industria de turismo de reuniones antes de la pandemia y durante la pandemia, para determinar el posible escenario y tendencias de éste gremio, mediante un estudio descriptivo de la industria MICE.

Situación de la industria de turismo de reuniones antes de la pandemia

Se aborda el tema de la Industria del Turismo de reuniones en México desde un enfoque descriptivo, considerando a la investigación descriptiva como “aquella que busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población”. [5]

Para este estudio, el grupo a describir es el Turismo de Reuniones (MICE), cuyos eventos generalmente se realizan en recintos feriales y centros de convenciones importantes del país. Los eventos del turismo de reuniones son fundamentales económicamente hablando, las principales industrias que generan ingresos al país durante las reuniones son salud, automotriz, petróleo, abarroteros y turismo.

Antes de la pandemia existieron grandes eventos con presencia internacional y nacional como: el 18th WPA World Congress Of Psychiatry en el 2018, realizado en la Ciudad de México en Expo Santa Fe, respaldado por la Asociación Psiquiátrica de América Latina (APAL). [6]

Al visitar la página del evento, cuenta con una sección para conocer mas sobre la Ciudad de México y que hacer durante su estancia como se puede observar en la figura 1. World Congress Of Psychiatry 2018.



Figura 1. World Congress Of Psychiatry 2018, [6]

La Expo Farma 2019 de la Asociación Farmacéutica Mexicana A. C. con más 9,000 participantes de distintos países en el Centro de Exposiciones World Trade Center en Ciudad de México. [7]

La Expo y Venta ANAM organizado por la Asociación Nacional de Abarroteros Mayoristas en 2019 en el Centro de Convenciones de Puebla, años anteriores realizada en Expo Guadalajara y Cintermex en Monterrey. [8]

La Expo Transporte ANPACT 2019 que tuvo mas de 46,000 visitantes en el Centro Expositor Puebla, superando la edición de 2017, asistieron más de 30 países, refrendando a Puebla como un destino sumamente interesante para la industria automotriz y del autotransporte, considerada como la puerta del sureste mexicano. [9]

En 2019, la Expo Oil and Gas en el Centro de Convenciones Tabasco 2000 con una afluencia de 5,627 personas nacionales e internacionales con temas de la relación con el Gobierno y una conferencia de la responsabilidad social y sustentabilidad, dentro del evento se llevo a cabo la feria de empleo apoyada por el servicio estatal de empleo y la asociación de recursos humanos de la industria petrolera, ofertando vacantes y obteniendo como resultado 1,438 solicitudes recibidas.[10]

De acuerdo con los eventos sostenibles antes de la pandemia del COVID 19, se realizo The Green Expo 2019 un Congreso Internacional Ambiental de CONIECO, Aquatech México e Intersolar México en el World Trade Center de Ciudad de México. Un evento con la participación de distintos países para enfrentar el cambio climático hacia la economía circular con ideas innovadoras, tratamientos de agua, manejo de residuos, reciclaje y tecnología para obras verdes. [11]

Otro evento importante es precisamente de los que organizan este tipo de eventos que fue el XXVI Congreso Nacional de Industria de Reuniones (CNIR) organizada en Los Cabos con aproximadamente 500 participantes con los objetivos de posicionar a México en el sector MICE con mas de 30 ponencias sobre sustentabilidad, seguridad, equidad de genero y más temas relacionados al turismo de reuniones. [12] En la figura 2. se puede apreciar a presidentes y miembros de las 14 asociaciones integrantes del Consejo Mexicano de la Industria de Reuniones (COMIR).



Figura 2. Presidentes y miembros del COMIR [12]

Para poder competir en esta industria durante años se han otorgado certificaciones que son importantes para avalar que cumple con requisitos y normas de calidad, generando confianza y credibilidad a su empresa y éste gremio no es la excepción ya que existen algunas certificaciones con años de experiencia. Meeting Professionals International (MPI) una asociación internacional del turismo MICE. Una certificación que otorga MPI para profesionales de administración de eventos y turismo de reuniones es Certificate in Meeting Management (CMM). PCO Meetings México es una asociación mexicana que otorga el Certificado de Competitividad Global (CCG), primer certificado mexicano que distingue a las empresas especializadas en la organización y producción de eventos profesionales. Algunas empresas que ya lo tienen son: Centro Citibanamex, Fiesta Americana, Corad, Expo Chihuahua, Poliforum León, Exentia, InterMeeting, Anfitriónes, entre otras empresas, como se puede apreciar en la figura 3. Empresas y Asociaciones Certificadas con el Certificado de Competitividad Global. [13]

Empresas y Asociaciones Certificadas



Figura 3. Empresas y Asociaciones Certificadas con el Certificado de Competitividad Global. [13]

El turismo de reuniones es un sector importante para México, ya que genera una derrama económica tanto para las empresas que se ven beneficiadas directamente con este tipo de eventos, como los centros expositores, los hoteles y las aerolíneas, pero también genera ingresos para otro tipo de empresas como los restaurantes, los museos, entre una infinidad de negocios que ofrecen opciones de acuerdo a las necesidades de los asistentes, hay ciudades que son grandes representando a los asistentes un atractivo turístico y aprovechan éste tipo de reuniones para conocer el lugar, gastar en comida, diversión y recuerdos.

Situación de la industria de turismo de reuniones durante la pandemia

Después de conocer la realización de reuniones en el país sobre todo en algunas industrias de la salud, automotriz, petróleo, abarroteros y turística, es importante conocer cuál fue el impacto durante la pandemia del COVID 19, que llegó a México a finales de febrero del 2020.

La Expo Farma 2022 se realizó nuevamente en el World Trade Center de Ciudad de México, tras eventos virtuales. Por otro lado, la Expo ANAM 2021 se realizó con más de 6,000 mil participantes en el Centro Expositor Puebla, con todos los protocolos de bioseguridad y pruebas COVID-19 para la mayoría de los asistentes, con ya nueva fecha para el 2022 en Centro de Convenciones de Puebla.

Tras la pandemia, la Expo Transporte ANPAC tuvo en 2020 y 2021 solo encuentros virtuales y ya tiene nueva fecha después de reprogramar a finales de año 2022 en el Centro Expositor Puebla, tendrán el objetivo de generar nuevas estrategias para la reactivación económica con los mismos temas de seguridad y el medio ambiente: tecnología para minimizar la contaminación ambiental, innovaciones en seguridad vial, financiamiento. También seguir los protocolos ante la emergencia sanitaria de cubrebocas, tapetes sanitarios, estaciones para lavado de mano, digitalización de acceso e información para asistentes y expositores. [9]

La Expo Oil and Gas se realizó virtual en el 2020 con temas sobre la crisis sanitaria. Actualmente, ya hay nueva fecha para que sea presencial en 2022, en el mismo Centro de Convenciones Tabasco 2000 y tiene la marca de "evento seguro", explicando sus medidas y normativas. De acuerdo con el protocolo, se debe de cumplir con diversas Normas Oficiales Mexicanas: NOM-001, sobre el adecuado funcionamiento de edificios e instalaciones, NOM-017, el jefe debe proporcionar a colaboradores equipo de protección y NOM-019, requerimientos de comisiones de seguridad e higiene en el trabajo. También menciona un aforo de máximo 2,000 personas en un día, capacitar al personal de forma general, cubrebocas durante la estancia, alimentos y bebidas en solo un espacio, contar con personal de salud y restringir el acceso con temperatura arriba de 37.5°C. [14]

Como se puede apreciar en el figura 4, la Expo Oil and Gas cuenta con un protocolo de acción contra el COVID-19.



Figura 4. Protocolo de acción ante COVID-19. [14]

De acuerdo con temas sustentables, The Green Expo en el 2020 fue virtual por el COVID 19 pero en 2021 se realizó en Centro Citibanamex en la Ciudad de México con las medidas de seguridad e higiene para asistir con la ayuda de los organizadores Tarsus México, que se dedican a organizar exposiciones y conferencias internacionales de negocios. Los procesos que mencionan de “evento seguro” son distancia física, registro con mas rapidez, asientos con normas de distanciamiento, limpieza profunda, estación con desinfectante en todo el evento y evitar el contacto personal. De igual manera en el mismo evento con Tarsus, se observan las estrategias tecnológicas como: actualizar sitios web y redes sociales acerca del evento, “Tarsus Support” para asistencia y apoyo a los participantes. [15]

Otro evento, el XXVII Congreso Nacional de Industria de Reuniones (CNIR) 2021 fue el regreso del turismo de reuniones tras la pandemia en la Expo Mundo Imperial en Acapulco. Fue un evento híbrido al tener la presencia de menos de 400 empresarios y mas de 500 personas conectadas de forma virtual. Con todas las medidas de higiene, bioseguridad y protección con el programa “Imperial Clean” que menciona el uso de protección personal, distancia social entre personas y pruebas rápidas de antígeno a los asistentes. [16]

Además, después de la contingencia comenzaron a surgir nuevas certificaciones dentro de la industria para garantizar la seguridad durante la pandemia del COVID-19. El Timbre Seguridad Turística que otorga el Gobierno a los negocios que cumplen con las medidas sanitarias que se establecen. Y “Safe Travels” que lo otorga el Consejo Mundial de Viajes y Turismo (WTTC) a los que sigan con los lineamientos de seguridad y los protocolos que establece la industria. [17]

Para el turismo de reuniones la pandemia le ha pegado mucho y las empresas dedicadas a éste ramo para evitar su desaparición han incursionado en reuniones apoyadas en la tecnología, reuniones híbridas y para poder empezar con reuniones presenciales, han adoptado todas las medidas establecidas por la secretaría de salud para convivir en los espacios, como el uso de cubrebocas, la sana distancia, el estornudo de etiqueta y el uso constante de gel antibacterial. La recuperación será lenta pero hay empresas que han logrado las certificaciones y el cabal cumplimiento de las medidas sanitarias para poder estar vigentes en éste importante sector.

Escenario y Tendencias del Gremio

Una de las medidas mas importantes a considerar para recuperar la confianza de los viajeros, será mantener las medidas sanitarias como el uso de cubrebocas, tapetes sanitarios, estaciones para lavado de mano, alimentos y bebidas en solo un espacio, contar con personal de salud y restringir el acceso con temperatura arriba de 37.5°C. Al igual que capacitar al personal y desinfectar cada cierto tiempo el evento con las nuevas tecnologías porque el virus llevo para quedarse. Los protocolos se quedarán para los próximos años en lo que el virus se va estabilizando.

Otra tendencia en el turismo de reuniones será realizar los eventos en ubicaciones diferentes y únicas, como teatros, fabricas antiguas y museos.

Considerar el concepto de bienestar con dietas especiales, alimentos orgánicos, yoga y meditación, también será un aspecto importante para esta industria que es tendencia en las nuevas generaciones.

Los eventos híbridos serán tendencia por la facilidad de analizar el impacto del evento y mayor feedback en tiempo real. Las transmisiones en vivo como herramienta de marketing y registro digital que ayuda a procesos más rápidos y efectivos. Se considera que definitivamente, los eventos híbridos llegaron para quedarse, es una forma cómoda e inteligente de pensar en los clientes, debido a que tienen la comodidad de elegir si quieren estar desde su casa o asistir, sin que las dos sean obligatorias.

De igual manera, el tema de sustentabilidad, aunque ya lleve tiempo siendo relevante, después de la pandemia, las personas empezaron a tener mayor conocimiento y es una tendencia en las nuevas generaciones.

Las certificaciones son de gran valor para las empresas que buscan un reconocimiento por parte de los clientes por la calidad del servicio que tienen.

La tecnología está en constante actualización, por lo que es importante estar al tanto de las tendencias y como empresa mantenerse activo en las redes sociales, tendencias del medio ambiente, tecnología, bienestar y más que nada, experiencias.

Conclusiones

En conclusión, se ha comprobado que el turismo de reuniones es una parte importante del turismo en México y para las empresas que de forma directa o indirecta reciben beneficios de éste sector. Después de la pandemia, será muy difícil regresar a la “normalidad” pero es cuestión de tiempo y esfuerzo el seguir adelante con las nuevas tendencias en la industria como la modalidad híbrida que cada día se va haciendo más fácil de adaptarse, por sus grandes beneficios. Otro tema es el Gobierno en México, debido a que no se han cerrado por completo fronteras, ha sido posible “seguir” con la industria turística con las medidas que ha implementado el Gobierno de México y SECTUR, aunque también las empresas privadas han seguido las medidas del Consejo Mundial de Viajes y Turismo (WTTC). Se puede decir que la industria de turismo de reuniones tardará algunos años para recuperarse, aunque ha hecho esfuerzos para no estar tan alejado de la meta, al realizar eventos desde el 2021 con todas las medidas sanitarias y con la ayuda de la tecnología, teniendo un gran éxito. Es importante conocer las tendencias dentro de la industria del turismo para hacerlo parte de la cotidianidad seguir con las medidas sanitarias, diferentes ubicaciones para los eventos, considerar el concepto de bienestar, eventos híbridos, abordar temas de sustentabilidad y apoyo en la tecnología.

Referencias

- [1] Statista Research Department (2022, 3 de junio). Turismo en México – Datos estadísticos. [Online] Available: https://es.statista.com/temas/6958/turismo-en-mexico/#topicHeader_wrapper
- [2] L. Muñoz. (2021). Turismo de reuniones: qué es, importancia y beneficios. México Ruta Mágica. [Online] Available: <https://mexicorutamagica.mx/2021/04/21/turismo-de-reuniones-ejemplo-importancia-beneficios-mexico-diferencia/>
- [3] EvoPayments. (2019). Los principales destinos para el turismo de reuniones en México. Evo Payments. [Online] Available: <http://www.evopayments.mx/blog/los-principales-destinos-para-el-turismo-de-reuniones-en-mexico/>
- [4] N, Fuentes. (2020, 9 de julio). México escala en el ranking de ICCA. MDC Magazine. [Online] Available: <https://mdcmagazine.com/articulos/meeting-news/world-trend-data/mexico-escala-en-el-ranking-de-icca>
- [5] R. Hernández, C. Fernández, p. Baptista, *Metodología de la Investigación*, 5ta Edición, México D.F. McGrawHill, 2010.
- [6] WPA. (2018). 18th Wpa World Congress Of Psychiatry. WPA. Available: <https://2018.wcp-congress.com/2018.html>
- [7] EnFarma. (2022). Expofarma 2019. EnFarma. [Online] Available: <https://enfarma.lat/index.php/resenas/284-expofarma-2019>

- [8] Gobierno de Puebla. (2021, 19 de septiembre). Ratifican abarroteros mayoristas cuatro años de estadía de su Expo en Puebla. [Online] Available: <https://www.puebla.gob.mx/index.php/noticias/item/6684-ratifican-abarroteros-mayoristas-cuatro-anos-de-estadia-de-su-expo-en-puebla#:~:text=%2D%20La%20Asociaci%C3%B3n%20Nacional%20de%20Abarroteros,informa%20la%20Secretar%C3%ADa%20de%20Econom%C3%ADa>
- [9] ExpoTransporte. (2022). 2022 Expo Transporte. ExpoTransporte. [Online] Available: <https://expotransporte.com>
- [10] Oil&Gas, (2019, 9 de mayo), Informe primera edición Expo Oil&Gas, México 2019. [Online] Available: https://issuu.com/oilandgasalliance/docs/informe_resultados_expo_2019
- [11] TheGreenExpo (2019). *The Green Expo 2019* [video] Facebook. Available: <https://es-es.facebook.com/TheGreenExpo2015/videos/the-green-expo-2019/2357595390962539/>
- [12] C. Galván. (2019, 27 de agosto). CNIR 2019, claridad y determinación para lograr cambios. Factor Meetings. [Online] Available: <https://factormeetings.com/cnir-2019-claridad-y-determinacion-para-lograr-cambios/>
- [13] PCOMetings. (2021). Certificación PCOMM. PCO Meetings México. [Online], Available: <https://www.pcomeetingsmexico.org/certificación-pcomm>
- [14] Oil&GasAlliance. (2022, 3 de febrero). Protocolo de acción ante COVID-19. Issuu. [Online] Available: https://issuu.com/oilandgasalliance/docs/protocolo_covid
- [15] TheGreenExpo (2021). The Green Expo global resources environmental & energy network. [Online] Available: <https://www.thegreenexpo.com.mx/2021/es>
- [16] AmaViajar.(2022). El XXVII CNIR marca el inicio de la reactivación de la Industria de Reuniones. Ama Viajar. [Online] Available: <https://www.amaviajar.com.mx/el-xxvii-cnir-marca-el-inicio-de-la-reactivacion-de-la-industria-de-reuniones/>
- [17] S, Navarrete (2020, 29 de septiembre). Certificaciones de seguridad, la apuesta para el turismo en CDMX ante COVID-19. [Online] Available: <https://politica.expansion.mx/cdmx/2020/09/29/certificaciones-de-seguridad-la-apuesta-para-el-turismo-en-cdmx-ante-covid-19>
- [18] A, Munguía. (2021, 28 de septiembre). La industria de reuniones ve “para largo” su recuperación. El financiero. [Online] Available: <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/2021/09/28/la-industria-de-reuniones-perfila-su-recuperacion-hasta-el-2023/>

La participación de las mujeres en el ámbito empresarial en el municipio de Zacapoaxtla

G. Mejía Méndez¹, D. Gómez Bonilla, L. Munguía Inés
Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla, mejiatec217@gmail.com

1

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

La participación de la mujer es trascendental en el desarrollo de las comunidades rurales. De manera gradual se van superando los obstáculos culturales y de género que impidieron por mucho tiempo la incorporación de la mujer al mercado de trabajo. Las mujeres que dirigen pequeñas empresas en el municipio de Zacapoaxtla presentan habilidades similares que sus pares masculinos, por lo que saben cómo conducir un negocio en las difíciles condiciones actuales del mercado. El objetivo de la presente investigación es analizar la participación de la mujer en el ámbito empresarial en el municipio de Zacapoaxtla, actividad que regularmente fue dirigida por hombres. Se realizó un estudio transversal no exploratorio, en donde se encontró que las diferencias directivas entre hombres y mujeres son poco significativas, lo que significa que las mujeres tienen las mismas capacidades que sus pares para dirigir una empresa.

Palabras clave: empoderamiento, mujer, campesinas, rural

Abstract

The participation of women is transcendental in the development of rural communities. Gradually, the cultural and gender obstacles that prevented the incorporation of women into the labor market for a long time are being overcome. Women running small businesses in the municipality of Zacapoaxtla have similar skills to their male counterparts, so they know how to run a business in today's difficult market conditions. The objective of this research is to analyze the participation of women in the business field in the municipality of Zacapoaxtla, an activity that was periodically directed by men. Non-exploratory cross-sectional study was carried out, where it was found that the managerial differences between men and women are insignificant, which means that women have the same abilities as their peers to run a company.

Key words: empowerment, women, peasants, rural

Introducción

El espacio rural se ha transformado continuamente, las economías locales y regionales han dejado de depender únicamente de las actividades agrícolas, por lo que otras fuentes de ingresos de los hogares rurales son las actividades secundarias y terciarias, pero sobre todo la tendencia se da hacia las actividades comerciales [1]. La mujer también participa en esta transformación del medio rural, pues durante años, además de efectuar el trabajo relacionado con el cuidado de la familia, ha realizado múltiples labores concernientes a la productividad agrícola, y también aun con los obstáculos de género y de patrones muy arraigados en el campo de machismo, la misma necesidad de aumentar o complementar los ingresos en los hogares la va orillando a incorporarse de forma más rápida al mercado de trabajo buscando estrategias para sobrevivir [2]. Los procesos migratorios internacionales, principalmente de hombres, inciden de manera favorable a la incorporación de las mujeres a las actividades productivas porque quedan al frente del hogar.

Martínez [3] difiere en su opinión de los diversos análisis que plantean que las mujeres se organizan principalmente para paliar los efectos de la crisis económica sobre los hogares y comunidades como estrategia de supervivencia. Señala la importancia de considerar en estos análisis los cambios identitarios y los retos críticos que a las mujeres pobres, indígenas y campesinas les representa su participación, la forma en que adquieren, desarrollan y negocian el poder y construyen identidades colectivas, dejando de lado su potencialidad para transformar las relaciones de poder que las subordinan en distintos ámbitos y su papel como sujetos sociales. Pero es precisamente su incursión en las actividades productivas lo que le da la posibilidad de medirse, compararse y superarse a sus pares masculinos. Por lo que es deseable que la mujer incremente su participación en emprendimientos dentro de sus comunidades.

El municipio de Zacapoaxtla se caracteriza por considerarse un municipio rural porque la mayoría de sus habitantes se dedica a las actividades agrícolas, y porque sus comunidades de acuerdo a la categorización del INEGI son de 2500 habitantes. Forma parte de los municipios más grandes de la sierra nororiental del estado de Puebla, cuenta con un total de 57887 habitantes [4] y su ubicación geográfica por encontrarse en la entrada a la sierra, ha propiciado su desarrollo urbano y comercial, por ello sus negocios ascienden a total de 2655 empresas [5]. En este contexto las mujeres zacapoaxtecas están dirigiendo negocios en el municipio de forma exitosa.

Si bien se ha encontrado que las mujeres directoras de empresas grandes tienden a ser más sensibles a la ética y a emprender acciones de responsabilidad social [6]. Respecto a la calidad del producto o servicio, la reputación interna, el talento, la dimensión internacional de la empresa y la innovación, varios autores consideran que estos elementos no son afectados por el sexo de los directores [7]. Aunque las mujeres actúan con mayor moderación y organizan mejor su trabajo. Estas características de las mujeres están presentes también en los pequeños negocios. Los hombres por otra parte son más propensos a asumir riesgo [8]. Lo cual los lleva a asumir formas más agresivas de rentabilidad, sin embargo si bien estas características son deseables para desarrollar emprendimientos más grandes, en el caso de las Mypes es mejor actuar con prudencia, de ahí que en este escenario el liderazgo femenino cobre relevancia.

El presente estudio muestra como las mujeres zacapoaxtecas de ascendencia campesina e indígena han iniciado su proceso de empoderamiento en las actividades comerciales y productivas de la región.

Metodología

Se realizó un estudio cuantitativo transversal no exploratorio, en el que se capta la participación de las mujeres en las actividades empresariales del municipio.

Para el tamaño de la muestra se consideró de universo las micro y pequeñas empresas del municipio, que de acuerdo a los datos de INEGI (2020) son 2665.

Proporciones del 50%

Confiabilidad de 95%

Error 5% n= 380

Para la aplicación de las encuestas se hicieron grupos de trabajo con estudiantes de la licenciatura de administración, cada estudiante aplicó dos encuestas, el tiempo aproximado en las entrevistas fue de una hora.

Se aplicaron 371 cuestionarios por muestreo simple en los meses de marzo-abril a las personas que dirigen o están al frente de los pequeños negocios. Se presentan la media y la desviación estándar de cada grupo; los valores resultan de promediar las respuestas de la escala y se obtienen puntuaciones del 1 al 5 para cada una. Adicionalmente se incluye la prueba *t* para la diferencia de medias independientes que prueba la hipótesis.

Resultados y discusión

En la tabla 1 se muestra el perfil de los empresarios zacapoaxtecos por género.

Tabla 1. Características de los empresarios zacapoaxtecos

Parámetros	Mujeres	Hombres
Muestra	163	208
Edad promedio (años)	37.6	40.5
Educación	10.9	11.6
Estado Civil	31.9 % casadas	51.4% casados
Hijos	77.3% tiene hijos	85.1% tiene hijos
¿Cómo llegó a ser dueño de la empresa?	69.9% fundó la empresa	68.3% fundó la empresa

Fuente: Elaboración propia con base a la encuesta aplicada con cuestionario Relayn.

La participación de la mujer en las actividades empresariales del municipio si consideramos que a nivel nacional se reduce al 16%, si bien los hombres encabezan más del 56.6% de los negocios, las mujeres están presentes dentro de la actividad económica de forma significativa.

En relación al nivel de escolaridad es mayor a la media nacional por una buena cobertura educativa que existe en la zona. En relación a hombres y mujeres, los hombres tienen un año más de escolaridad. De forma desagregada tenemos que de los directivos de los negocios, 5.29% no tienen estudios, 11.42% han cursado la primaria, 18.11% secundaria, 46.80 tienen bachillerato o carrera técnica, 18.11% licenciatura y 0.28% estudios de posgrado.

En el caso de las mujeres el estado civil influye para estar desarrollando un negocio ya que, de las mujeres entrevistadas las mujeres casadas representan un 31.9% mientras que en los hombres a los que culturalmente se les considera proveedores, consideran como una obligación contar con un ingreso, por lo que crear un negocio forma parte de sus responsabilidades. La mayor parte de los empresarios son padres de familia, y los miembros participan en las actividades de la pequeña empresa que por sus características puede considerarse como familiar.

Tanto hombres y mujeres son fundadores de la empresa, y no hay diferencia significativa en cuestión de género. Este es un indicador que la mayoría de los negocios pueden considerarse en pleno desarrollo y esto es congruente con la edad de los entrevistados ya que la mayoría son jóvenes, aunque las mujeres tienen en promedio menos edad.

Para la consolidación de un negocio es primordial el tiempo de dedicación de quienes lo dirigen, y cuando este es la fuente principal de ingresos de la familia, les absorbe la mayor parte del tiempo y de los recursos. En la tabla 2 se muestra que las mujeres dedican más tiempo al negocio, pero también son las que dedican más horas a las labores del hogar.

Tabla 2. Horas que dedican los directivos diversas labores

Labores	De 3 a menos horas		De ocho horas a más	
	Mujeres	Hombres	Hombres	Mujeres
Dedicadas a la mype	8%	5.3%	71.8%	80.3%
Dedicadas a otra empresa	79.1%	79.3%	NA	10.1%
Dedicadas al hogar	59.9%	78.4%	11.7%	NA

Fuente: Elaboración propia con base a los cuestionarios aplicados en Relayn.

En la tabla 3 se compararon las principales estrategias de gestión de los directivos de las micro y pequeñas empresas de Zacapoaxtla, y no se encontraron diferencias significativas entre la gestión de los hombres y la de las mujeres, por lo que significa que las mujeres tienen las mismas habilidades que los hombres para dirigir un emprendimiento o negocio. Aunque las medias de habilidades y conocimientos de innovación, análisis de

mercado, mercadotecnia están más débiles, constituyen una área de oportunidad para desarrollar cursos de acompañamiento y capacitación.

Tabla 3. Estrategias de gestión de los directivos de mypes en Zacapoaxtla

Aspectos	Media	D. estándar	Media	D. estándar
Recursos humanos	4	0.674	4.07	0.584
Análisis de mercado	3.89	0.566	3.84	0.583
Proveedores	4.17	0.59	4.24	0.537
Dirección	3.8	0.648	3.89	0.639
Finanzas	3.7	0.821	3.77	0.787
Innovación	3.51	0.866	3.6	0.771
Mercadotecnia	3.8	0.602	3.82	0.567
Producción	4.33	0.513	4.41	0.523
Satisfacción	3.78	0.628	3.76	0.582

Fuente: Elaboración propia con base a los cuestionarios aplicados Relayn.

Trabajo a futuro

Es necesario darle seguimiento a los negocios que han permanecido en el mercado por más tiempo y que son dirigidos por mujeres, esto permitirá conocer los factores que han intervenido en la consolidación de la empresa

Conclusiones

La mujer zacapoaxteca ha incrementado su participación en la dirección de empresas comerciales, lo cual constituye un parteaguas por la aun baja participación a nivel nacional.

La mayoría de las mujeres están en edad de asimilar experiencias y en disposición de adquirir herramientas y habilidades para que puedan desarrollar sus negocios. Las pruebas estadísticas demuestran que no hay diferencias significativas entre hombres y mujeres en el momento de dirigir o gestionar una empresa. Lo cual es congruente con los autores que señalan que las mujeres en un contexto favorable, participan y se empoderan en las actividades empresariales.

En la región de Zacapoaxtla la mujer emprendedora se va empoderando en las actividades económicas y productivas, y comparte con su pareja o los hijos la responsabilidad de dirigir una empresa.

Referencias

- [1] Chong G. "Emprendedurismo femenino rural" Revista Entramado Vol. 12 Num. 1. Pp. 30-36. México. 2016.
- [2] Callejón, María. "La economía emprendedora de David Audretsch", en: Investigaciones Regionales, no. 15, P. 47-54, 2009.
- [3] Martínez Corona. "Género, empoderamiento y sustentabilidad en organizaciones de mujeres rurales. El caso de la Maseualsiuamej Mosen- yolchicauanij de Cuetzalan, Puebla, México", tesis de doctorado en Estrategias de Desarrollo Agrícola Regional, México, Colegio de Postgraduados, campus Puebla, 1999.
- [4] Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática [INEGI] (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. Aguascalientes, México. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- [5] Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2022). Directorio estadístico de unidades económicas (DENUe). Aguascalientes, México. Recuperado de: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mapa/denue/default.aspx>
- [6] Zalata, A. M., Ntim, C., Aboud, A., & Gyapong, E. "Female CEOs and Core Earnings Quality: New Evidence on the Ethics Versus Risk-Aversion Puzzle". Journal of Business Ethics, 160(2), 515–534. 2019.
- [7] Navarro-García, J. C., Ramón-Llorens, M. C., & García-Meca, E. "Female directors and corporate reputation. BRQ Business Research Quarterly", 234094442097271, 2020.
- [8] Faccio, M., Marchica, M. T., & Mura, R. "CEO gender, corporate risk-taking, and the efficiency of capital allocation", Journal of Corporate Finance, 39, 193–209. 2016.

Benchmarking de las redes sociales del TECNM campus Colima

F.A. Velázquez^{1*}, M.A Rivas¹, M.C. Pedraza¹, E.O. Paulino¹ Y D.J. López¹,
¹Departamento Económico administrativo, Tecnológico.
velazquez@mail.com

Área de participación: Ingeniería Administrativa.

Resumen

Esta investigación fue motivada para analizar y desarrollar estrategias para el Tecnológico nacional de México campus Colima, sobre el uso y manejo de las redes sociales. En Facebook, se realizaron análisis de perfiles y páginas relacionadas con la institución, con el objetivo de conocer qué tipo de contenido comparten. Posteriormente, se realizaron entrevistas a los docentes que contaban con una página o perfil en esta red social, misma que integran en sus actividades de docencia. Se realizaron entrevistas a todos los responsables del manejo de alguna red social. Los resultados permitieron mostrar la realidad de cómo es que manejan las redes sociales, el tipo de información que se sube y el grado de interacción que se logra con los estudiantes, entre otros puntos.

Palabras clave: Benchmarking, Comunicación digital, Redes sociales, perfiles.

Abstract

This research was carried out to analyze and develop strategies for the Tecnológico nacional de México campus Colima, on the use and management of social networks. On Facebook, profiles and pages related to the institution were analyzed, in order to know what type of content they share. Subsequently, interviews were conducted to teachers who had a page or profile in this social network, which they integrate into their teaching activities. Interviews were conducted to all those responsible for managing a social network. The results allowed us to show the reality of how they handle social networks, the type of information that is uploaded and the degree of interaction that is achieved with students, among other points.

Key words: Benchmarkin, Digital communication, Profiles, Social networks.

Introducción

Al paso de los años, el internet se ha convertido en una herramienta de mayor importancia para la sociedad. Desde la llegada de la web 2.0, la forma de comunicarse y de compartir información de un individuo a otro ha cambiado, lo que ha beneficiado a los usuarios facilitando la comunicación y transmisión de datos en un tiempo menor. [1]

La web 2.0 se ha definido de desde diferentes perspectivas, sin embargo es claro establecer el fenómeno social del uso de la web que permite crear una comunicación abierta donde existe la posibilidad de generar y compartir información en línea. [2]

Así pues, la llegada de la era digital ha revolucionado la forma en que los jóvenes interactúan y socializan. En consecuencia, las instituciones educativas de nivel superior deben adaptarse al nuevo estilo de vida donde las redes sociales a través de los dispositivos móviles se han convertido en una herramienta para comunicarse. [3]

Las instituciones educativas buscan adaptarse a las redes sociales, sin embargo, debido al mal uso que se les da y a la falta de estrategias de comunicación digital, se generan barreras de comunicación que generan dificultades de interacción con los estudiantes. [4]

Las redes sociales hoy en día tienen un gran impacto en la vida cotidiana de los usuarios que las manejan en especial entre los jóvenes por lo cual es una herramienta muy útil para generar un entorno virtual donde puedan colaborar e interactuar entre ellos mismos.

En los últimos años el TECNM campus Colima ha tratado de incorporar el manejo y uso de las redes sociales en el ámbito académico, buscando ampliar la comunicación y a su vez difundir información para los estudiantes. Aunque la Institución ya cuenta con páginas y perfiles en Facebook, muchas de ellas no se gestionan de forma adecuada ni se da seguimiento a las publicaciones.

Por lo tanto, en esta investigación se hará uso del Benchmarking para detectar los puntos de mejora en esta institución educativa y general un análisis de los contenidos de las redes sociales.

Metodología

Se trata de un diseño no experimental de tipo cualitativo, que pretende alcanzar un nivel exploratorio y descriptivo, mediante tres etapas:

Etapas 1. Análisis de universidades extranjeras,

Etapas 2. Análisis de las universidades nacionales y locales.

Etapas 3. Análisis del TECNM campus Colima.

En las etapas 1 y 2 se utiliza el bechmarking sobre las prácticas utilizadas por las instituciones educativas de nivel superior de las universidades extranjeras y nacionales.

Para La etapa 3, se emplea una entrevista semiestructurada con 20 preguntas todas del tipo cualitativa, realizadas al personal docente que utiliza redes sociales para difundir información dentro del TECNM campus Colima. Se identificaron los departamentos y personas a cargo de las distintas páginas y perfiles existentes. Para conocer la cantidad de páginas y perfiles existentes ligados a la institución. El levantamiento se realiza de manera censal porque se consideró a todos los docentes y trabajadores de la institución que manejan redes sociales institucionales. Se entrevista tomando como herramienta de apoyo un teléfono celular para grabar audio de cada entrevista. Se entrevistó a los coordinadores de cada carrera, jefes que integran el departamento de planeación y vinculación, jefa de la división de estudios de posgrados e investigación, jefa de la coordinación de lenguas extranjeras y al grupo Ola verde. Al concluir las entrevistas se procedió a analizar los audios previamente grabados, para obtener la información necesaria.

Todas las entrevistas fueron revisadas y discutidas por los investigadores para llegar a una interpretación común. Esta discusión o intercambio de opiniones, o "memoing" permitió definir y redefinir la dirección del análisis para llegar a conclusiones relevantes.

Resultados y discusión

A continuación, se muestran los resultados obtenidos estructurados en las tres etapas.

1) Análisis de universidades extranjeras

Para la primera etapa se indago en varios artículos con la finalidad de encontrar información relevante sobre universidades extranjeras que han tenido éxito en el manejo de las redes sociales

en el ámbito académico, para poder realizar un análisis completo de dichas universidades, Luque Cano (2018), muestra información sobre el manejo de las redes sociales en estas instituciones, por ejemplo: diferencia de seguidores, cantidad de publicaciones diarias, promedio de publicaciones, día y hora de la semana para publicar contenido. [5] En la Figura 1. Se puede observar la cantidad de publicaciones diarias por universidad, la cual es muy variada dependiendo cada una de ellas.

Publicaciones diarias

Universidad	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	domingo	TOTAL
Harvard U.	73	83	91	92	96	82	76	593
MIT T.R.	711	744	712	721	673	699	585	4843
Michigan	82	76	94	87	93	74	50	556
Stanford U.	132	92	110	103	98	50	37	622
Oxford U.	57	65	69	72	102	58	59	482
Cambridge	45	70	84	96	93	23	14	425

Figura 1. Publicaciones diarias. Tomada de: "GESTIÓN DE REDES SOCIALES POR LAS UNIVERSIDADES DE ELITE" (Luque Cano, J. 2018).

En la tabla 1. Se observa el horario en que publican contenido estas universidades.

Horarios de publicación

Universidad	Horario de mayor publicación	Engagement (compromiso)
Harvard	12:00 y 18:00h.	si
MIT	24x7	si
Stanford	15:00h del día empieza a publicar una gran cantidad de contenido disminuyendo sus publicaciones a las 3:00 de la mañana y terminando por subir contenido a las 9:00h del día.	
Michigan	Similar a la de Stanford, cabe señalar que el horario donde más éxito tiene es en lunes o domingo a las 4:00 de la mañana	
Oxford	15:00 a 18:00h	no
Cambridge	12:00h del día y hasta las 24:00h	aceptable

Tabla 1. Horarios de publicación. Tomada de: "GESTIÓN DE REDES SOCIALES POR LAS UNIVERSIDADES DE ELITE" (Luque Cano, J. 2018).

Al analizar el horario en que publican las universidades extranjeras se pudo observar que mantienen un seguimiento profundo con el objetivo de buscar un horario en específico donde su contenido sea un rotundo éxito con sus seguidores. En la Figura 2. Se muestra el tipo de contenido que suben las universidades analizadas. Los enlaces y en segundo lugar los videos es lo más utilizado.

Tipos de contenido

	VIDEO	IMAGEN	ESTADO	ENLACES
Harvard University	121	89	3	380
MIT Technology Review	97	71	3	4.672
University of Michigan	254	172	7	123
Stanford University	147	92	8	375
Oxford University	184	293	2	3
University of Cambridge	171	76	5	173

Figura 2. Tipos de contenido. Tomada de: "GESTIÓN DE REDES SOCIALES POR LAS UNIVERSIDADES DE ELITE" (Luque Cano, J. 2018).

Podemos definir el Engagement como el nivel de compromiso o fidelidad que tiene un trabajador con la empresa, en este caso el nivel de compromiso que tiene la institución con los estudiantes. La Figura 3. Muestra el Engagement (compromiso) de los perfiles de Facebook.

Engagement ponderado de los perfiles de las unidades en Facebook.

Página Fb.	Compr. ponderado	Nro de publicac.
Stanford University	0,05%	622
Univ. of Cambridge	0,23%	425
Harvard University	0,09%	593
MIT Technology	0,52%	4.843
University of Oxford	0,03%	482
Michigan	0,09%	556

Figura 3. Engagement ponderado de los perfiles de las universidades en Facebook. Tomada de: "GESTIÓN DE REDES SOCIALES POR LAS UNIVERSIDADES DE ELITE" (Luque Cano, J. 2018).

Al analizar esta información obtenida se observa que las universidades extranjeras tratan de tener un fuerte compromiso con sus estudiantes a través del contenido que se sube día tras día todo esto con el objetivo de hacerlos sentir parte de la institución.

Lo que distingue a estas universidades extranjeras es el uso de las redes sociales ya que forman parte de los objetivos generales de la institución, también generan contenido adecuado para cada tipo de red social que se va a utilizar y mantienen un fuerte seguimiento sobre su contenido en busca de un horario que sea más atractivo para sus usuarios que interactúan con ellos.

2) Análisis de universidades nacionales y locales.

En este apartado se analizó la Universidad Nacional de Guadalajara, el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, la Universidad de Colima y la Universidad Vizcaya con la finalidad de analizar el uso que le dan a las redes sociales en este caso solo se analizó Facebook.

Existen gran cantidad de sitios web encargados de hacer análisis sobre el uso de las redes sociales. Dependiendo de cuál sea utilizado, es la profundidad de dicho análisis.

Para este análisis se utilizaron las siguientes métricas para poder darle un porcentaje a las características de los perfiles de Facebook.

Portada: en las que se analiza si tienen o no la foto de portada y foto de perfil. Acerca, que es la descripción acerca de la empresa a los visitantes de la página;

Acerca de: donde se analiza la información de la institución como dirección, teléfono, ubicación, etc.

Actividad: permite analizar la longitud de mensajes para una mejor participación entre los usuarios se recomienda de 40 – 100 caracteres en promedio, Videos originales de Facebook, siendo el tipo más atractivo de contenido en Facebook.

Respuesta: Los usuarios pueden o no pueden publicar: permitir a los usuarios publicar en una página es el primer paso en el aumento de participación.

Participación: Número de personas hablando de esto, mide la cantidad de personas que han interactuado con una página o su contenido en los últimos siete días

En la tabla 2 podemos observar el estado de las páginas de Facebook de las universidades analizadas a través de una aplicación en línea.

Tabla 2. Resumen sobre el estado que guardan las páginas de Facebook de las Universidades analizadas (elaboración propia).

Universidad Contenido	Universidad Nacional de Guadalajara	Instituto Tecnológico de Monterrey	Universidad de Colima	Universidad Vizcaya
Portada	100%	100%	100%	100%
Acerca de	72%	44%	67%	89%
Actividad	100% Fotos 56%, notas 0% y videos 44%. 1.7 mensajes por día. Más de 156 Paginas con "me gusta". 176 caracteres en la longitud de los mensajes. 25 videos originales de Facebook.	85% Fotos 0%, notas 25% y videos 75%. Maneja 0.3 mensajes por día. Tiene 30 páginas con "me gusta". 323 caracteres en la longitud de los mensajes. 25 videos originales de Facebook.	100% Fotos 74%, notas 8% y videos 18%. Maneja 3.7 mensajes por día. Tiene más de 111 páginas con "me gusta". 166 caracteres en la longitud de los mensajes. 25 videos originales de Facebook.	77% Fotos 74%, notas 5% y videos 21%. Maneja 2 mensajes por día. Tiene solo 1 página con "me gusta". 365 caracteres en la longitud de los mensajes. 25 videos originales de Facebook.
Respuesta	0%	100%	100%	100%
Compromiso	Porcentaje: 60% 11.323 hablan de esto. 547.752 totales de "me gusta" para la página. 2% de tasa de participación.	Porcentaje: 70% 65.501 hablan de esto. 784.362 totales de "me gusta" para la página. 8% de tasa de participación.	Porcentaje: 70% 10.668 hablan de esto. 102.619 totales de "me gusta" para la página. 10% de tasa de participación.	N/A 507 hablan de esto. 11.024 totales de "me gusta" para la página. 5% de tasa de participación.

Universidad Nacional de Guadalajara: Los seguidores no pueden publicar contenido; Esto obstruye la participación del usuario; La mezcla de distintos tipos de contenidos en los mensajes de esta página es fantástico; Están publicando contenido nuevo a un ritmo excelente e Interactúa con otras páginas de Facebook.

Instituto Tecnológico de Monterrey: pueden mejorar la frecuencia de publicación; en cuanto a la longitud de mensajes está recibiendo un nivel de participación excelente; la institución responde la mayoría de los comentarios de los usuarios; fomenta el interés de dominio cruzado al interactuar con otras páginas de Facebook.

Universidad de Colima: debe de mejorar la frecuencia de publicación; debe de mejorar la longitud de los mensajes para crear un nivel mayor de participación; maneja un tiempo de respuesta excelente e interactúa con otras páginas de Facebook fomentando el interés de dominio cruzado y el compromiso general.

Universidad Vizcaya: no da "me gusta" o interactúa con otras páginas de Facebook; la página responde bien a la mayoría de los comentarios de los usuarios; maneja una buena mezcla de distintos tipos de contenidos en los mensajes de esta página y publica contenido nuevo a un buen ritmo.

Para finalizar y reforzar los resultados del análisis se tomó en cuenta el artículo del autor Gonzalo Brito, J., Laaser, W., Toloza, E.; donde muestra resultados relevantes para esta investigación ya que son los problemas comunes que existen en las universidades iberoamericanas los cuales con cuerda con el análisis. [4]

-Las universidades deben extender el uso a modo de cartelera de noticias para focalizar y aprovechar las potencialidades de estos canales de información.

-La falta de estrategias institucionales en entorno a la implementación de redes sociales, ya que la mayoría de ellas no relacionan el uso de las redes sociales con los objetivos de la universidad en el ámbito educativo.

-El contenido que se sube en las redes sociales que manejan es repetitivo ya que las publicaciones no son adaptadas al canal seleccionado.

-La mayoría de las universidades no pone en práctica la modalidad de un único perfil institucional centralizado.

-Se registran también cuentas paralelas y resulta difícil para los estudiantes detectar información segura, por lo que la participación activa de la comunidad organizacional resulta imprescindible.

3) Análisis del TECNM campus Colima.

En esta fase final se analizaron las entrevistas que se realizaron a los diferentes departamentos que manejaban redes sociales con la finalidad de indagar el uso que se le da a estas mismas, Se encontraron 17 grupos de Facebook, de las cuales más del 50% son grupos que se han creado y no se les da seguimiento.

Como inicio de la entrevista se les cuestionó sobre las redes sociales que manejaban y se trató de profundizar en su uso. Sin embargo, la mayoría de sus respuestas se enfocó a la red social Facebook y es, en sí, la manejada por todos, excluyendo al Departamento de Difusión (medio oficial) que utiliza además Twitter y YouTube.

Los docentes conocen la importancia de las redes sociales en la vida cotidiana, como se corroboró al cuestionarles lo que pensaban sobre ellas y la comunicación actual pues, la mayoría afirmaba que "...son herramientas muy útiles... y...un medio de comunicación masivo", es decir, ellos están conscientes que le las redes sociales llegan a todo el mundo y que son útiles para la comunicación.

En el ámbito educativo dichas redes son utilizadas como un medio informativo de lo que institucionalmente consideran importante, como becas, convocatorias o avisos institucionales, como se muestra en la siguiente respuesta:

"El principal uso que se le da a la red social es para informar sobre avisos, convocatorias, bajas, etc.; más que nada para tener al tanto a los alumnos de la carrera".

La mayoría de los responsables de manejar las cuentas que se encuentran abiertas en la red social Facebook no tienen idea de los términos frecuentes e importantes dentro del manejo de las redes sociales ni para lo que les pueden ser útiles, tal fue el caso cuando se les preguntaba si aplicaban los conceptos de Branded Content, Real Time Marketing y Engagement.

No usan memes o gifs por considerarlos como una herramienta no formal para el fin de la difusión de la información, pues se trata de una institución educativa. Ya que la respuesta más frecuente era "utilizamos como herramienta para reforzar lo publicado con imágenes, videos, enlaces para que llame más la atención y cuando es una beca el enlace para que puedan acceder más fácilmente".

Para finalizar el análisis de las entrevistas se presenta un breve resumen de los resultados en general del uso de las redes sociales por parte de los diferentes departamentos del TECNM campus Colima.

Las redes sociales se utilizan con la única función de difundir información, sin llevar un horario estratégico de publicación y sin tener tiempo suficiente para llevar un seguimiento continuo; así como la falta de incorporación de los conceptos de Branded Content, Real Time Marketing y Engagement.

Para indagar un poco más sobre el uso de la red social Facebook se analizó el perfil con la misma aplicación web con el objetivo de ver cuál es el estado de este mismo.

En la tabla 3 podemos observar los resultados que arrojó la aplicación sobre la página del TECNM campus Colima.

Métricas	Porcentaje
Portada	porcentaje 100%. Ofrece a los visitantes una gran impresión con imagen de perfil, nombre de usuario y una breve descripción acerca de la información a los visitantes de la página, además de un apartado para atender dudas o comentarios.
Acerca de	porcentaje 67%. No comparte logros de la institución en la información disponible para los usuarios, falta ubicación de la institución y la información de contacto está completa, por ejemplo: teléfono, sitio web y correo de contacto.
Actividad	porcentaje 62%. Contenido que publica: fotos 59%, notas 9% y videos 32%. 0.7 mensajes por día que no genera Engagement (compromiso) con los usuarios que lo siguen, sólo 2 páginas con "me gusta", indica falta de interacción con otras páginas y un compromiso general deficiente; mensajes con 206 caracteres superan el ideal de 40 a 100 para generar mayor atracción de los usuarios.
Respuesta	porcentaje 100%. Maneja un tiempo de respuesta aceptable para responder los comentarios de los usuarios.
Compromiso	porcentaje N/A. 498 personas están interactuando con la página, 4,497 total de "me gusta" y tiene un 11% tasa de participación.

Tabla 3. Resumen sobre el estado que guardan la página de Facebook del TECNM campus Colima analizadas (elaboración propia).

Del análisis se establece que la página no da "me gusta" o interactúa con otras páginas de Facebook, están publicando contenido nuevo con un ritmo sólido, la mezcla de distintos contenidos en los mensajes de esta página es buena y responde a la mayoría de los comentarios de los usuarios.

Para finalizar este apartado el autor Valerio-Ureña, G., & Herrera-Murillo, D., & Rodríguez-Martínez, M. (2014), "Facebook, como cualquier otra herramienta, no genera un impacto positivo por sí misma, es la forma en que se utiliza lo que puede hacer que su uso sea positivo o no para una empresa. El momento en que se publica es quizás uno de los factores más importantes." [6]

Y el autor García, S., & Alonso García, M. (2014), "...sus seguidores no solo comparten información, sino que también promocionan, consultan y recomiendan.". Caso contrario la institución que nos atañe donde se observa que no han sabido incorporar del todo las redes sociales pues la mayoría de los entrevistados siguen usándolas simplemente para difundir información, lo que provoca que no se esté interactuando con sus seguidores. [7]

Trabajo a futuro

Como parte del futuro desarrollo de la presente investigación será la elaboración de estrategias para el buen uso de las redes sociales en el ámbito educativo de la institución.

Conclusiones

La investigación realizada fue favorable porque permitió cumplir el objetivo planteado que era conocer el contenido que comparten en las redes sociales en el ámbito educativo del TECNM campus Colima.

El manejo de Facebook en las instituciones principalmente debe de tener bien establecidos los objetivos conforme a estos para así tener el conocimiento de cómo hacer el manejo de forma adecuada de la red social, ya que mediante el establecimiento de estos por consecuente se puede

generar el tipo de contenido que será subido y que lograra generar interés e interacción en los seguidores, así mismo el contenido debe de ser del interés de los usuarios ya sea para su desarrollo personal o académico.

Hoy en día la inclusión de las redes sociales en las instituciones educativas de nivel superior tiene un gran impacto como herramienta que facilita la difusión de la información.

La presente investigación tiene como aplicación poder expandir la perspectiva sobre el tema de las redes sociales en las instituciones de educación superior. Al haber analizado universidades extranjeras, nacionales y locales se tiene una mejor visión de su alcance.

Los resultados permitirán realizar las comparaciones pertinentes por medio del benchmarking para dar la base propicia en la generación futura de estrategias que permitan tener mejoras visibles en la gestión de redes sociales.

Agradecimientos

Agradecemos al Tecnológico nacional de México Campus Colima, por las facilidades recibidas para realizar esta investigación.

Referencias

- [1] Ozcinar, Z., Sakhieva, R.G., y otros 4 autores, Student's Perception of Web 2.0 Tools and Educational Application, <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i23.19065>, International Journal of Emerging Technologies in Learning, 15(23), 220-233 (2020)
- [2] Greenhow, C., y Chapman, A., Social distancing meet social media: digital tools for connecting students, teachers, in an emergency, <https://doi.org/10.1108/ILS-04-2020-0134>, Information and Learning Science, 121(5), 331-342 (2020)
- [3] Puertas-Hidalgo, R.; Carpio-Jiménez, L. (2017). Interacción generada en redes sociales por las universidades categoría A en Ecuador. International Journal of Information Systems and Software Engineering for Big Companies (IJISEBC), 4(1), 53-61.
- [4] Brito, J., Laaser, W., & Toloza, E. (2012). El uso de redes sociales por parte de las universidades a nivel institucional. Un estudio comparativo. RED. Revista de Educación a distancia., 1-38.
- [5] Luque Cano, J. (2018). Comunidades en ADDI. Obtenido de Universidad del País Vasco:https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/32427/TFG_Luis_Luque_Cano.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [6] Ureña, G., Herrera-Murillo, D., & Rodríguez-Martínez, M. (2014). Asociación entre el momento de publicación en las redes sociales y el engagement : estudio de las universidades mexicanas. Palabra Clave, 749-772.
- [7] García, S., & Alonso García, M. (2014). LAS REDES SOCIALES EN LAS NIVERSIDADES ESPAÑOLAS. Revista de Comunicación de la SEECI, 132-140.

Una Aproximación a la Contextualización de la Investigación del Liderazgo

M. Dávila Hernández^{1*}, A. Martínez Guzmán², G.J. Espinosa Martínez³, S. Garrido Roldán⁴, M. Vargas Urbina⁵
Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, ^{1*}margarita.sub.a@tesco.edu.mx,
²anabel.sub.a@tesco.edu.mx, ³gisela.sub.a@tesco.edu.mx, ⁴samuel.sub.a@tesco.edu.mx,
⁵matias.lam@tesco.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Dada la reconocida importancia del liderazgo en el desempeño de las organizaciones, el objetivo del presente trabajo es realizar una aproximación al estado de la investigación del liderazgo. Para lo anterior se utilizó la base de datos Dimensions.ai, un generador de nubes de palabras y VOSviewer (herramientas de uso libre). Los resultados indican la vigencia del constructo, mostrando una tendencia positiva las publicaciones de artículos, identificándose como temas emergentes la relación del liderazgo con la disciplina laboral y el trabajo remoto, entre otros. Es conveniente resaltar la frecuencia de trabajos acerca del estilo de liderazgo transformacional en las organizaciones. Adicional a lo anterior se identificaron aspectos relacionados con autores, países y citación.

Palabras clave: Liderazgo, contextualización, Dimensions.ai, VOSviewer.

Abstract

Given the recognized importance of leadership in the performance of organizations, the objective of this work is to make an approximation to the state of leadership research. For the above, the Dimensions.ai database, a word cloud generator and VOSviewer (free-use tools) were used. The results indicate the validity of the construct, showing a positive trend in the publication of articles, identifying as emerging issues the relationship of leadership with labor discipline and remote work, among others. It is convenient to highlight the frequency of works about the transformational leadership style in organizations. In addition to the above, aspects related to authors, countries and citations were identified.

Key words: Leadership, contextualization, Dimensions.ai, VOSviewer.

Introducción

En el estudio realizado por Elton Mayo, en Hawthorne¹ [1] (1927-1932), resalta el hallazgo correspondiente a que los empleados no eran motivados exclusivamente por factores externos, sino que existían factores psicológicos que afectaban la productividad; en el caso de Hawthorne, la relación social entre las obreras y la supervisora produjo condiciones laborales que favorecieron el aumento de la productividad de las empleadas. El tiempo, la investigación y la experiencia han evidenciado que el comportamiento y la actitud de la persona que asume como gerente de una empresa, son elementos influyentes para lograr la perdurabilidad, la calidad y el éxito en el mercado. Con base a esto, es posible afirmar que, si se quiere generar cambios, mejorar los procesos, lograr que las personas se motiven a lograr los resultados en las organizaciones, se debe contar con gerentes que inicien, faciliten, gestionen, impulsen y coordinen el proceso de transformación [2]. Los líderes tienen un estilo de liderazgo que los caracteriza, sin embargo, algunos actúan de forma estratégica, y cambian según el momento o las circunstancias, esto se presenta tanto en las organizaciones políticas, sociales o empresariales [3].

Considerando la importancia del liderazgo para el logro de los objetivos organizacionales, el presente trabajo tiene como objetivo realizar una aproximación al estado de su investigación, como referente y fuente de conocimiento para su aplicación en las organizaciones.

¹ El estudio se realizó en la Western Electric Co, en Hawthorne, en Chicago, Illinois. La empresa fabricaba equipos y componentes telefónicos; en esa época desarrollaba una política de personal que daba importancia al bienestar de los operarios, manteniendo salarios satisfactorios y buenas condiciones de trabajo. Se realizó el experimento en su departamento de montaje de interruptores telefónicos, constituido por mujeres jóvenes (montadoras), donde se ejecutaban tareas simples y repetitivas que dependían de su rapidez.

Metodología

El procedimiento que se aplicó tuvo como referencia [4]:

1. Selección de la base de datos. Para realizar un estudio bibliométrico es fundamental el acceso a bases de datos. Dimensions.ai (Figura 1) [5] es una plataforma de investigación desarrollada por Digital Science y 6 empresas vinculadas, en colaboración con más de 100 organizaciones de investigación líderes en todo el mundo y universidades, en 2018, creando en una sola plataforma datos vinculados: desde subvenciones, publicaciones, conjuntos de datos y ensayos clínicos hasta patentes y documentos de política; así, es posible mapear todo el ciclo de vida de la investigación. Esta plataforma posibilita el acceso a 128 millones de documentos clasificados mediante técnicas de inteligencia artificial, permitiendo a los usuarios explorar más de 4.000 millones de conexiones entre ellos. La base de datos utiliza un modelo en el que las funcionalidades básicas de búsqueda y navegación son gratuitas, pero las funcionalidades avanzadas requieren pago; en un estudio comparativo, Dimensions.ai demostró ser una buena alternativa a Scopus² y Web of Science³, en términos de cobertura, posibilitando el libre acceso a artículos por parte de los investigadores [6]. Si bien Dimensions.ai proporciona los elementos para la realización de estudios bibliográficos, los resultados de la búsqueda correspondiente se pueden exportar a VOSviewer⁴ (Figura 2), una herramienta de software libre para analizar la literatura científica a través de redes bibliométricas, favoreciendo un análisis más profundo.



Figura 1 Dimensions.ai.



Figura 2. VOSviewer.

En este trabajo se utilizará la versión gratuita.

² Scopus es la mayor base de datos de citas y resúmenes de bibliografía revisada por pares: revistas científicas, libros y actas de conferencias. Ofrece un exhaustivo resumen de los resultados de la investigación mundial en los campos de la ciencia, la tecnología, la medicina, las ciencias sociales y las artes y humanidades. Scopus incluye herramientas inteligentes para hacer un seguimiento, analizar y visualizar la investigación [16].

³ La Web of Science, WOS, propiedad de la empresa Clarivate Analytics, es la colección de bases de datos de referencias bibliográficas y citas de publicaciones periódicas que recogen información desde 1900 a la actualidad. La WOS está compuesta por la colección básica Core Collection que abarca los índices de Ciencias, Ciencias Sociales y Artes y Humanidades, además de los Proceedings tanto de Ciencias como de Ciencias Sociales y Humanidades junto con las herramientas para análisis y evaluación, como son el Journal Citation Report y Essential Science Indicators. Adicionalmente, cuenta con las bases de datos que la complementan incluidas en la licencia para España: Medline, Scielo y Korean Citation Index [15].

⁴ VOSviewer es una herramienta de software gratis para analizar la literatura científica a través de redes bibliométricas puede servir para crear mapas de publicaciones, autores o revistas sobre la base de una red de co-citación, o para crear mapas de palabras clave basadas en una red de co-ocurrencia; además, ofrece un visualizador que permite examinarlos, ofreciendo la posibilidad de exhibirlos de diferentes modos, cada uno enfatizando algún aspecto [14]

2. Definición de la estrategia de búsqueda. Considerando, a) el supuesto de que los descubrimientos científicos y resultados de las investigaciones son publicados en revistas científicas (al menos en su mayoría) [7], b) que la pertinencia de un programa de estudios profesionales se revisa cada 5 años, c) que se describirá el uso de software libre en el análisis bibliométrico y, d) las tendencias de desarrollo sostenible de las organizaciones, los parámetros considerados en la búsqueda son:

- Tema: Liderazgo
- Rango de fechas: 2017-2022
- Solo publicaciones de tipo "Artículo"
- Documentos de "Acceso Abierto"
- Categorías de investigación: "Metas de desarrollo sostenible" ("Trabajo decente y desarrollo económico"); "Campos de Investigación" ("Negocios y Gestión")
- La búsqueda se realizó el 11 de julio de 2022

3. Obtención de la información. Se aplicará la estrategia de búsqueda anteriormente determinada en la plataforma de Dimensions.ai extrayendo la información correspondiente a la cantidad de artículos publicados, a los países con mayor productividad (publicaciones) y a los temas relacionados con el liderazgo.

4. Análisis de la información. La información obtenida se analizará utilizando estadística inferencial (para el caso de la tendencia), se empleará un generador de nubes de palabras⁵ para la identificación de los temas relacionados con el liderazgo que más se han estudiado y el análisis de la colaboración y citas se realizará utilizando los mapas bibliométricos (mapas de la ciencia) generados por VOSviewer.

VOSviewer (Figura 2) es una herramienta de software gratis para analizar la literatura científica a través de redes bibliométricas creando mapas basados en datos de red favoreciendo la visualización y exploración de estos mapas. VOSviewer se ha desarrollado en el lenguaje de programación Java. Dado que Java es independiente de la plataforma, VOSviewer se ejecuta en la mayoría de las plataformas de hardware y sistema operativo. VOSviewer se puede descargar desde www.vosviewer.com. VOSviewer puede servir para crear mapas de publicaciones, autores o revistas sobre la base de una red de co-citación, o para crear mapas de palabras clave basadas en una red de co-ocurrencia; además, ofrece un visualizador que permite examinarlos, ofreciendo la posibilidad de exhibirlos de diferentes modos, cada uno enfatizando algún aspecto [8].

Resultados y discusión

Resultados de la búsqueda

Una vez que se ingresa a la plataforma Dimensions.ai (<https://www.dimensions.ai/>) se accede a la aplicación web gratuita. La pantalla aparece en idioma inglés, pero se puede traducir al español; la ecuación de búsqueda definida anteriormente se muestra en la parte superior de la vista de la plataforma. La Figura 3 presenta la pantalla inicial de resultados de la plataforma. Se obtuvieron 701 documentos, con un incremento anual promedio de 30.9 artículos publicados. Cabe mencionar que se buscó "leadership", pero como se seleccionó el idioma español, aunque la búsqueda se realizó en idioma inglés, los resultados aparecen traducidos al español.

Análisis

Las Vistas Analíticas de Dimensions.ai proporcionan información acerca de los investigadores, sus publicaciones, las instituciones en las que colaboran y los correspondientes países; la Figura 4 muestra la cantidad de publicaciones realizadas en el periodo 2017-2022 (solo se consideraron las publicaciones de los autores que colaboraron con instituciones, porque es cuando se presenta la información del país). Es de resaltar el dominio que demuestra Indonesia en la investigación del liderazgo, con 264 autores que publicaron artículos (México participó con 2 autores).

⁵<https://www.nubedepalabras.es/>

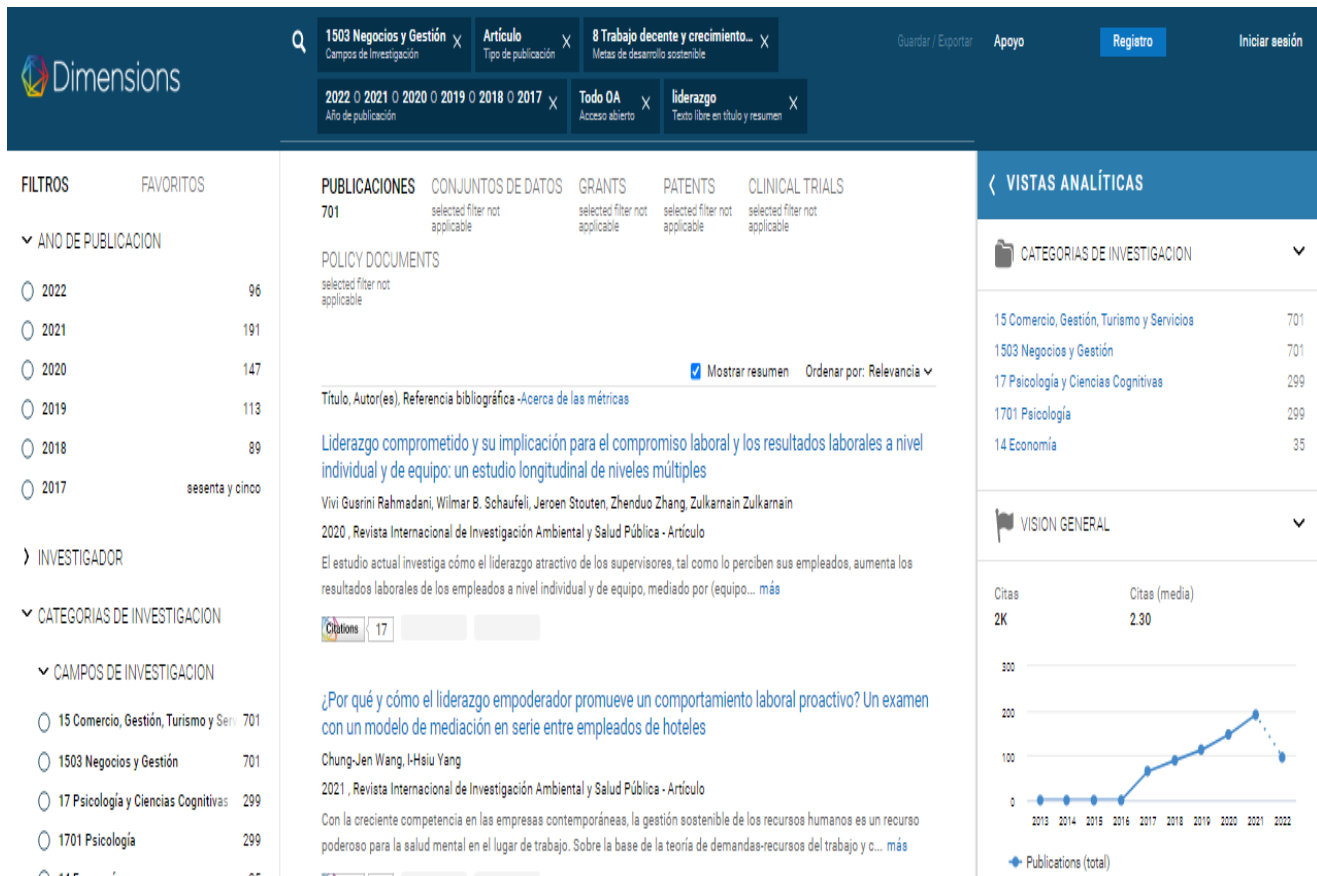


Figura 3. Vista parcial de los resultados que proporciona Dimensions.ai.

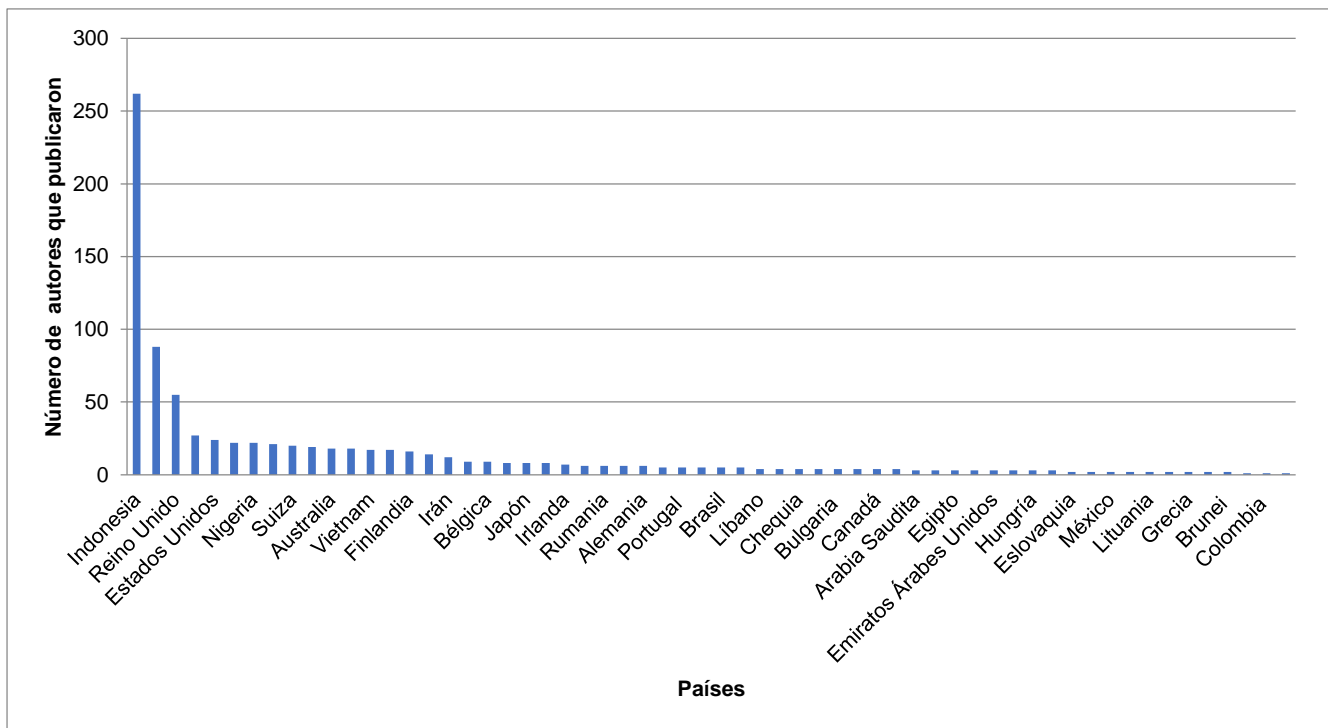


Figura 4. Número de autores que publicaron en el periodo 2017-2022 relacionado con sus países.

Temas relacionados con el Liderazgo

Continuando con la metodología, se elaboró una nube de palabras para mostrar los términos relacionados con la investigación del área de liderazgo. Se utilizó la información de títulos y resúmenes proporcionada por la base Dimensions.ai, obteniéndose 408 términos.

La Figura 5 presenta la nube de palabras obtenida⁶. Como se puede observar, la mayoría de los términos están relacionados con el comportamiento organizacional, exponiendo la importancia de la relación entre el liderazgo, la cultura organizacional, la motivación, el compromiso y la productividad. Adicional a lo anterior, se tienen áreas emergentes del liderazgo con la disciplina laboral (acciones que tienen como objetivo lograr el acatamiento de las políticas, normas y reglamentos de la empresa, por parte de todos sus integrantes [9]), y con la innovación y el trabajo remoto, ésta última como estrategia laboral aplicada durante la pandemia del Covid-19, ante el reconocimiento de que el liderazgo “virtual” tiene sus especificidades en relación al liderazgo “presencial” y, también, la necesidad de mantener la competitividad de la organización. En congruencia con lo anterior, aunque la investigación de los estilos de liderazgo presenta una importante frecuencia en las publicaciones, resalta el liderazgo transformacional (es frecuente que este liderazgo se lleve a cabo en casos excepcionales o en situaciones de crisis internas; su meta es el cambio, la evolución, la apertura a nuevas posibilidades; cabe mencionar que uno de sus propósitos es reforzar el vínculo de los individuos con la organización [10]). Otros temas de investigación asociados al liderazgo fueron el estrés laboral y las diferencias respecto al género.



Figura 5. Nube de palabras con los términos obtenidos de la base Dimensions.ai.

⁶ <https://www.nubedepalabras.es/>

Autores, Países, Citas

Para realizar esta parte del análisis se exportaron los resultados de la búsqueda proporcionados por Dimensions.ai a VOSviewer (generador de mapas bibliométricos). En la Figura 6 se presenta la visualización de coautoría entre autores; cada círculo representa un autor y su tamaño refleja la cantidad de documentos publicados; la cercanía o lejanía de un autor a otro a otro refleja la fuerza de coautoría que ejerce cada autor, es decir, cuanto más cerca se encuentra un autor de otro de otro, mayor será la fuerza de coautoría entre ellos. Los colores indican *clusters* de autores que están relativamente relacionados entre sí [11]. Al posicionarse en un autor, VOSviewer proporciona información de los coautores con los que está relacionado, así como del número correspondiente de documentos publicados (parte inferior de la Figura 7). Un aspecto a resaltar es que una cantidad importante de autores trabajan en solitario (círculos grises de la Figura 6) lo que denota una baja colaboración científica [12].

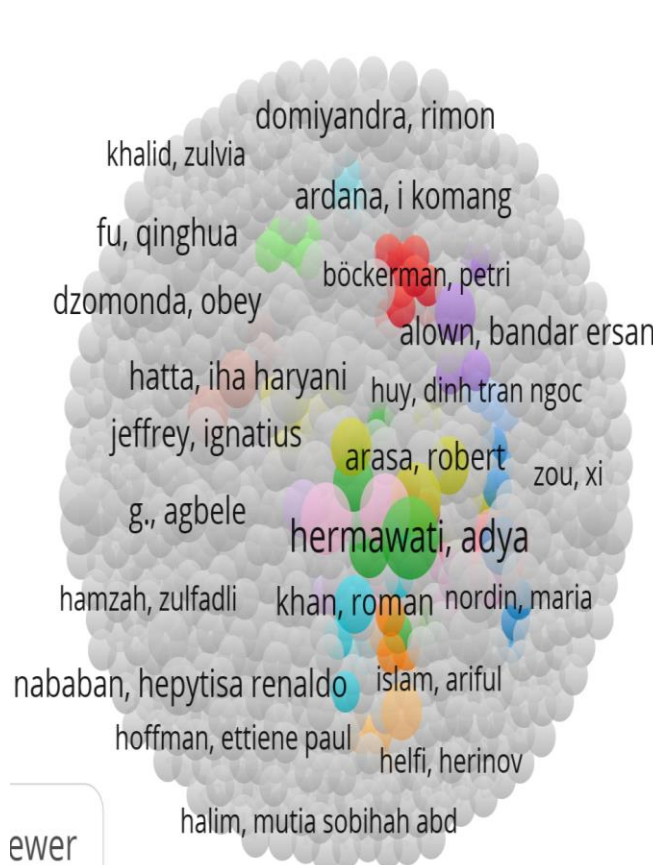


Figura 6. Coautoría entre autores.

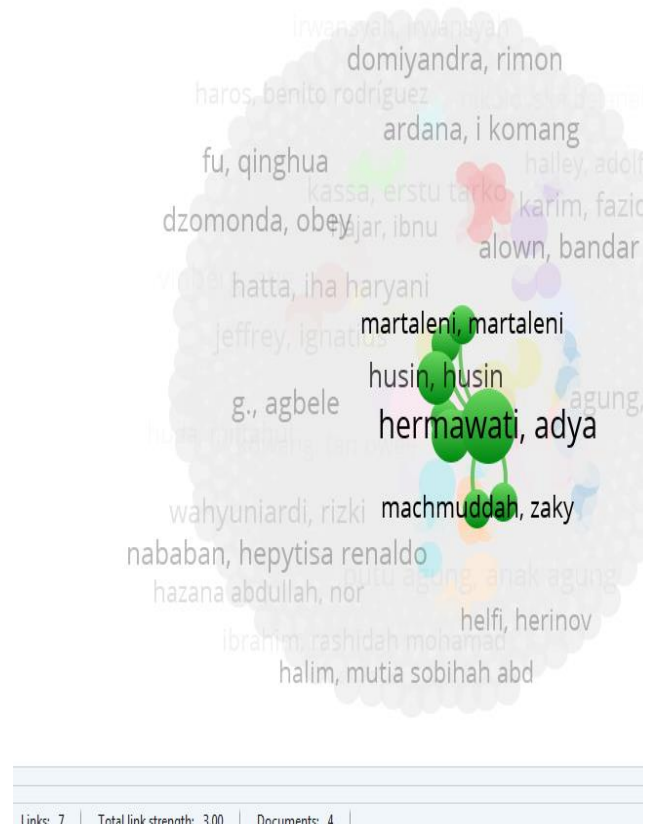


Figura 7. Detalle de coautoría.

Respecto a la relación de coautoría entre países, la Figura 8 es congruente con lo señalado anteriormente: una cantidad importante de autores publican en solitario. El tamaño del círculo es proporcional al número de publicaciones de los autores de un país: Indonesia reporta 85 artículos publicados, pero solo tiene relaciones de coautoría con tres países (Países Bajos, Bélgica y Pakistán); por otro lado, el Reino Unido, con 19 documentos presenta relaciones de coautoría con 10 países (Sudáfrica, Estados Unidos, Japón, Italia, Corea del Sur, Francia, Austria, China, Australia y Emiratos Árabes Unidos) (Figura 9). Un análisis de los artículos publicados por Indonesia y el Reino Unido exhiben una diferencia fundamental: el 69.4% de los artículos de Indonesia corresponden a estudios de caso, en relación con solo el 5.3% del Reino Unido. La mayoría de los estudios del Reino Unido están relacionados a sectores productivos, a nivel nacional o internacional.

A lo largo de la historia, la calidad de los trabajos científicos ha estado asociada al número de citas que reciben por parte de otros estudios. Por tanto, los trabajos se citan por la relevancia de sus contenidos; lo habitual es que la relevancia radique en sus resultados científicos [13]. La Tabla 1 presenta los documentos publicados por país

y las citas correspondientes (en otros trabajos); la mayor cantidad de citas corresponde al Reino Unido, con 528 y 19 artículos publicados (casi 28 citas en promedio, por documento), teniendo relaciones de citación con 5 países (España, Corea del Sur, Francia, China, Estados Unidos). Indonesia, con 85 artículos publicados solo presenta 73 citas (menos de una cita, en promedio) y relaciones de citación solo con Estados Unidos. La Figura 10 muestra las relaciones de citación entre países. Las Figuras 11 y 12 presentan el detalle de Indonesia y Reino Unido.

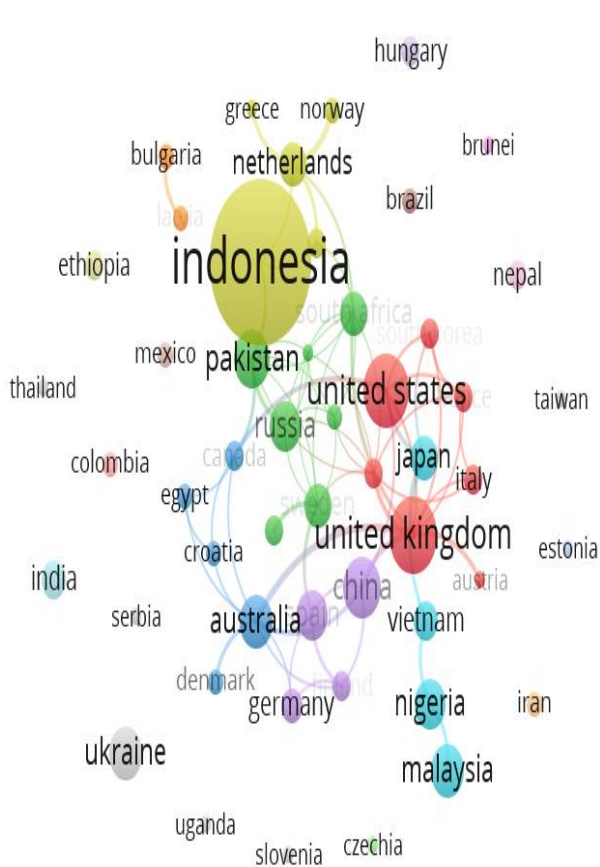


Figura 8. Documentos publicados y relaciones de coautoría entre países.

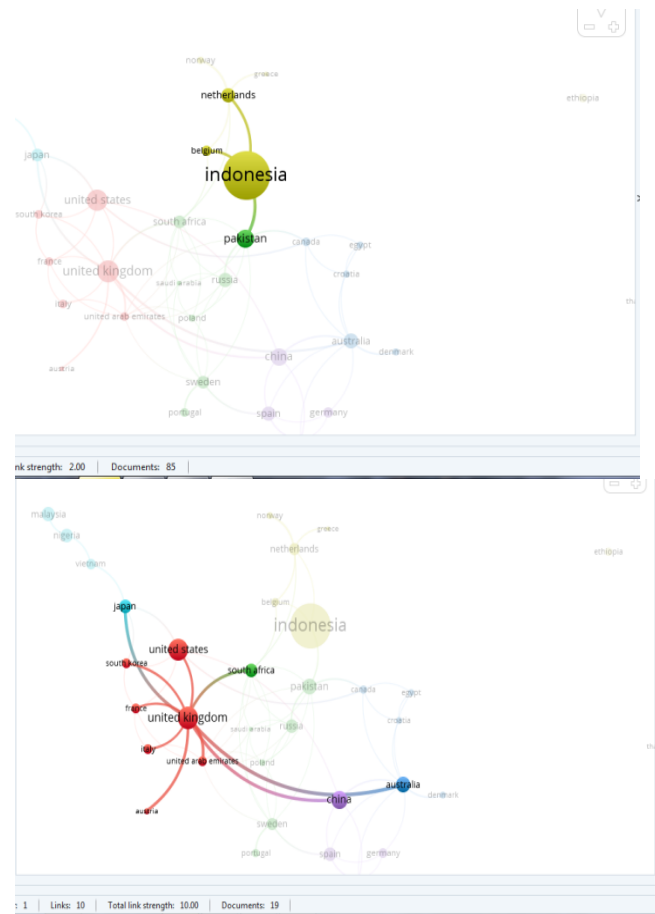


Figura 9. Detalle comparativo de documentos y relaciones de coautoría de Indonesia y Reino Unido.

Trabajo a futuro

Se sugiere ampliar el análisis considerando las revistas que publican los temas de liderazgo e incluir indicadores que sean de utilidad para medir la productividad científica. Adicional a lo anterior, identificar los temas emergentes relacionados con el liderazgo que sean factibles de aplicar en las organizaciones para favorecer su competitividad.

Conclusiones

El objetivo general fue realizar una aproximación al estado de la investigación del liderazgo; se determinó la tendencia positiva de las publicaciones de artículos, los países y autores que encabezan lo anterior, así como los temas relacionados con el liderazgo que han sido investigados en los últimos años y, además, aspectos de coautoría y citación. Es de resaltar que, aunque lo anterior se realizó con el uso de herramientas de uso libre (TIC's), constituye un referente del panorama de la investigación sobre liderazgo en las organizaciones.

Tabla 1. Cantidad de artículos publicados por país y citas del trabajo (vista parcial).

Selected	Country	Documents	Citations	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	united kingdom	19	528	5
<input checked="" type="checkbox"/>	china	12	132	5
<input checked="" type="checkbox"/>	japan	6	132	0
<input checked="" type="checkbox"/>	australia	9	128	0
<input checked="" type="checkbox"/>	netherlands	6	112	1
<input checked="" type="checkbox"/>	south korea	3	106	2
<input checked="" type="checkbox"/>	spain	8	101	2
<input checked="" type="checkbox"/>	indonesia	85	73	1
<input checked="" type="checkbox"/>	finland	3	73	0
<input checked="" type="checkbox"/>	norway	2	68	1
<input checked="" type="checkbox"/>	united states	17	65	3
<input checked="" type="checkbox"/>	france	3	56	2
<input checked="" type="checkbox"/>	united arab emirates	3	52	0
<input checked="" type="checkbox"/>	malaysia	9	46	0
<input checked="" type="checkbox"/>	germany	4	44	0
<input checked="" type="checkbox"/>	italy	3	40	0
<input checked="" type="checkbox"/>	austria	1	37	0
<input checked="" type="checkbox"/>	pakistan	11	27	0
<input checked="" type="checkbox"/>	vietnam	5	24	0
<input checked="" type="checkbox"/>	south africa	6	23	1

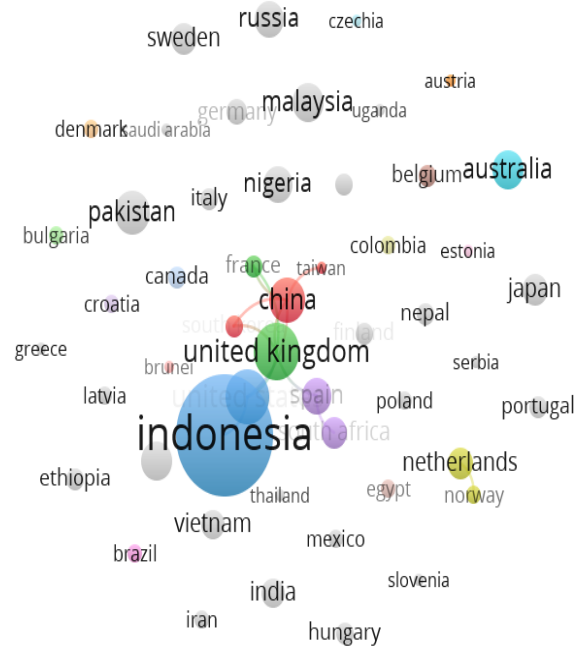


Figura 10. Relación de citas entre países.



Figura 11. Relación de citación de Indonesia con otros países.



Figura 12. Relación de citación de Reino Unido con otros países.

Referencias

- [1] I. Chiavenato, *Introducción a la Teoría General de la Administración*, México: Mc Graw Hill, 2017.
- [2] Aguirre.Gabriela, B. Serrano y G. Sotomayor, "El liderazgo de los gerentes", *UNIVERSIDAD Y SOCIEDAD, Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos*, vol. 9, nº 1, pp. 187-195, 2017.
- [3] M. Uzurriaga, C. Osorio y O. Arias, *Liderazgo: Definiciones y estilos*, Santiago de Cali: Universidad Santiago de Cali, 2020.
- [4] S. Santana, A. Álvarez, A. Acosta, Y. Morales y Y. Zamora, "Análisis Bibliométrico del comportamiento de la actividad científica desarrollada en la optimización de aero-bombas de eje horizontal", *Revista de Investigaciones*, vol. 17, nº 1, pp. 96-107, 2022.
- [5] Dimensions, "Dimensions.ai" Digital Science & Research Solutions Inc, 2022. [En línea]. Available: <https://www.dimensions.ai/>. [Último acceso: 10 Julio 2022].
- [6] A. Martín, M. Thewall, E. Orduna y E. López, "Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science and OpenCitations"COCI: a multidisciplinary comparison of coverage via citations", *Scientometrics*, vol. 126, nº 1, pp. 871-906, 2021.
- [7] K. Salinas y A. García, "Bibliometrics, a useful tool within the field of research" *Journal of Basic and Applied Psychology Research*, vol. 3, nº 6, pp. 10-17, 2022.
- [8] M. Guzmán y J. Trujillo, "Los mapas bibliométricos o mapas de la ciencia: una herramienta útil para desarrollar estudios métricos de información" *Biblioteca Universitaria*, vol. 16, nº 2, pp. 95-108, 2013.
- [9] A. J. Castillo, "Vlex", Información jurídica, tributaria y empresarial, [En línea]. Available: <https://vlex.com.co/vid/disciplina-laboral-400875786>. [Último acceso: 5 Junio 2020].
- [10] EAE Business School, «incp.org.co,» [En línea]. Available: <https://incp.org.co/Site/publicaciones/info/archivos/Guia-de-liderazgo-transformacional.pdf>. [Último acceso: 10 Junio 2022].
- [11] C. Limaymanta, «Otlet,» Revista para profesionales de información, 31 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.revistaotlet.com/tips-cesar-limaymanta-mapeo-cientifico-con-vosviewer/>. [Último acceso: 12 Mayo 2020].
- [12] V. Tomás-Górriz y T.-C. Vicente, "La Bibliometría en la evaluación de la actividad", *HAD*, vol. 2, nº 4, pp. 145-163, 2018.
- [13] R. Repiso, A. Moreno-Delgado y I. Aguaded, "Factores que influyen en la frecuencia de citación de un artículo" *Iberoamerican Journal of Science Measurement and Communication*, vol. 1, nº 1, pp. 1-7, 2020.
- [14] VOSviewer, "VOSviewer" 1 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.vosviewer.com/>. [Último acceso: 12 Mayo 2020].
- [15] Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, "Recursos Científicos" 2022. [En línea]. Available: <https://www.recursoscientificos.fecyt.es/licencias/productos-contratados/wos>. [Último acceso: 12 7 2022].
- [16] ELSEVIER, "ELSEVIER" 2022. [En línea]. Available: <https://www.elsevier.com/es-mx/solutions/scopus>. [Último acceso: 12 07 2022].

Bibliometría de efectos de la COVID-19 en el empleo de las micro y pequeñas empresas

J. Cruz Manzo^{1*}, L.C. Ortuño Barba², F. Merlo Magaña²

¹Decanato de Ingenierías Posgrado, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla,
17 sur 901 Col Barrio de Santiago. Puebla, Pue. C.P. 72410

²Departamento de Ciencias Económico Administrativas, Tecnológico Nacional de México / I.T. Tehuacán,
Libramiento Tecnológico s/n, Tehuacán, Pue., C.P.75770

*jessica.cruz01@upaep.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

El objetivo de este artículo es presentar un análisis bibliométrico que permita realizar un diagnóstico del estado actual y la evolución de las afectaciones económicas del COVID 19 dentro de las micro y pequeñas empresas. La metodología empleada consiste en la búsqueda de 252 documentos proporcionados por la base de Scopus, a través del análisis de los metadatos en los *Software R Bibliometrix* y *VOSviewer*. Los resultados permitieron identificar a los principales autores, países, revistas y organizaciones, mediante el análisis de cantidad, calidad y de estructura. Este es el primer análisis bibliométrico que da a conocer una visión general de las diferentes estrategias utilizadas para contrarrestar los efectos económicos de la pandemia en las micro y pequeñas empresas.

Palabras clave: COVID 19, R Bibliométrix, MIPYMES, PYMES.

Abstract

The objective of this article is to present a bibliometric analysis that allows a diagnosis of the current state and evolution of the economic impact of COVID 19 on micro and small enterprises. The methodology employed consists of a search of 252 documents provided by the Scopus database, through the analysis of metadata in the R Bibliometrix and VOSviewer software. The results allowed the identification of the main authors, countries, journals and organizations, through the analysis of quantity, quality and structure. This is the first bibliometric analysis that provides an overview of the different strategies used to counteract the economic effects of the pandemic on micro and small enterprises.

Key words: COVID 19, R Bibliométrix, SMES, MSMS

Introducción

El año 2020 ha sido el inicio de una serie de estrategias desafiantes para la población a nivel mundial [1]. La pandemia mundial de la enfermedad por coronavirus de 2019, más conocida como COVID-19, es una crisis sanitaria y económica sin precedentes que se considera una amenaza para la vida del mundo. Ha afectado a las vidas y los medios de subsistencia tanto de los trabajadores, como a la continuidad de las operaciones en todos los sectores económicos. Actualmente la COVID-19 ha sido producto de numerosos impactos en nuestra sociedad, tanto desde el punto de vista sanitario, como social y económico, ya que esto ha dado como resultado, que las micro y pequeñas empresas se han visto afectadas por la crisis sanitaria, generando así fuertes inconvenientes que limitaron su crecimiento y competitividad. Así mismo, esto ha sido consecuencia de la crisis en su cadena de suministros, disminuyendo así los ingresos de las empresas. Reduciendo la actividad económica y la fuerza laboral que operan estas organizaciones [2]. De acuerdo con Eggers [3], las pequeñas y medianas empresas son más vulnerables a eventos internos y externos; ya que a causa del Covid-19 se disminuyó el flujo económico de las organizaciones. Así mismo, Rodrigues et al. [4], comentan que la pandemia de COVID-19 dio como resultado el cierre de muchas empresas, provocando crisis en la materia de los sectores económicos a nivel internacional, en particular las pequeñas y medianas empresas (PYMES) han sido las más afectadas. Por lo tanto, con base en lo anterior surge el cuestionamiento de la afectación económica que ha generado la COVID-19 en la micro y pequeñas empresas, así como las estrategias a seguir, por lo que el objetivo de este artículo es

presentar un análisis bibliométrico que permita realizar un diagnóstico de la evolución y estado actual del tema a tratar.

Derivado de la revisión de literatura se incluye una tabla donde algunos autores proporcionan su conceptualización de las micro y pequeñas empresas, además de las implicaciones y efectos que tuvieron por la pandemia: finalizando con diversas estrategias y recomendaciones.

Tabla 1. Implicaciones y estrategias de los principales autores con base a la recurrencia de citación

Autor (res)	Definición de Micro y pequeñas empresas (Mype)	Implicación y Efecto (COVID 19) de crisis económicas en las Mype	Estrategias
Sultan y Sultan [5]	Las MIPYMES al introducir innovaciones en sus productos o servicios pueden obtener una ventaja competitiva sobre sus competidores, así como a obtener reconocimiento global.	El gobierno palestino aplicó restricciones y como resultado se cerraron empresas y los principales perjudicados fueron las MIPYMES, en términos de producción e ingresos, generando desempleo.	La reacción innovadora de las mujeres empresarias de las MIMYPES para mantener sus negocios y sobrevivir, por medio de la combinación de estrategias que se habían adoptado durante el cierre; la gestión del efectivo, flexibilidad, cooperación y marketing digital facilitó la supervivencia de las mujeres empresarias palestinas.
Mukherjee et al. [6]	Las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) siempre están en riesgo y, por tanto, serán las más afectadas por la pandemia.	La pandemia provocó la migración, la pérdida de los medios de subsistencia de los jornaleros y trabajadores independientes.	Las autoridades deben crear incentivos para que las MIPYMES dirijan sus inversiones al modelo "Plan de Continuidad de Negocio" (PCN).
Amuda [7]	No hay suficientes investigaciones académicas que relacionen el impacto del COVID-19 con las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en Nigeria.	En Nigeria, el coronavirus causó el cierre de las principales capitales políticas y comerciales del territorio.	La colaboración entre los líderes de las PYMES y el gobierno para proporcionar una plataforma para la inclusión de la digitalización en las PYMES dando apoyo crediticio para expandir y fortalecer las oportunidades de negocio existentes.
Al-Hyari [8]	Las PYMES son organizaciones que luchan por sobrevivir ajustando sus modelos de comercio a las diversas situaciones del entorno en un corto periodo de tiempo.	Descenso de las ventas gracias a una caída de la demanda o a inconvenientes con la logística y las cadenas de suministro. Además del despido a algunos de sus trabajadores a causa del cierre.	Formular decisiones estratégicas ajustando sus modelos de negocio a las circunstancias cambiantes del entorno en un corto periodo de tiempo.
García-Villagrán et al. [9]	Las PYMES son más vulnerables a los acontecimientos internos y externos y dependen de la capacidad de sus propietarios-gerentes para dirigir las empresas. Son una de las principales fuentes de la economía mundial.	Reducción del comercio internacional, la interrupción de cadenas de suministro, la disminución de la productividad, la contracción de la actividad económica, la disminución de la inversión, el cierre de empresas y la pérdida de puestos de trabajo	Las PYMES necesitan invertir en tecnologías de análisis de datos para conocer a sus clientes de manera efectiva y ofrecer lo que necesitan

Harjadi et al. [10]	Las PYMES son aquellas organizaciones económicas formadas por una pequeña escala de personas, que deben ser protegidas de la competencia empresarial desleal.	Las PYMES experimentaron un descenso de las ventas. A su vez todas las actividades económicas se paralizaron y experimentaron un declive. La competencia ocasionó una "guerra de precios" y esto afectó los costos de producción.	Las PYMES deben iniciar medidas durante el periodo de esta pandemia llevándolas a una digitalización tentativa.
Caballero-Morales [11]	Las PYMES son empresas familiares que se afrontan a una carga económica e incertidumbre, contando con recursos limitados, una cadena de suministro vulnerable y relaciones de empresa a empresa / empresa a clientes.	Reducción del flujo económico para retener a los trabajadores, falta de pago de alquiler y reinvertir en su infraestructura, aumento de la tasa de desempleo, ocasionando el cierre de empresas.	Aprovechando los recursos digitales como Internet y las plataformas de comunicación (WhatsApp, ZOOM, Skype), se puede realizar el conocimiento de técnicas y contactos específicos (proveedores, clientes) para aprovechar mejor los recursos limitados de las PYMES.
Nurlinda et al. [12]	Las MIPYMES de Indonesia se concentran en los sectores del comercio, la alimentación, el procesamiento de alimentos, los textiles y las prendas de vestir, la madera y los productos de madera, así como la producción de minerales y metales y la culinaria.	Disminución de los ingresos provocando un aumento de los precios de materias primas, costos de producción y costos de alquiler. A su vez las MIPYMES se enfrentaron a problemas como la disminución de la producción y el despido de trabajadores.	La utilización de la tecnología en línea, mejorará el rendimiento del negocio, para aumentar las ventas y también para ser un medio de promoción de las MIPYMES.
Rodrigues et al. [4]	Las PYMES son un componente fundamental del sector empresarial en todo el mundo, son más débiles financieramente y experimentan una mayor incertidumbre a medida que se prolonga la crisis en cuanto a sus efectos a largo plazo	Cierre temporal o permanente de las empresas, lo cual causó la pérdida de puestos de trabajo, la fragilidad financiera y la incertidumbre durante la pandemia.	Deben adquirir nuevas capacidades dinámicas, apostando por las herramientas digitales, el teletrabajo y la responsabilidad social.
Nordhagen et al. [13]	Las MIPYMES son un sector importante dentro del almacenamiento, distribución, venta integral y procesamiento.	El sistema alimentario a largo plazo en los países de ingresos bajos y medios están siendo afectados por la pandemia	Incluyeron acciones que facilitaron el comercio minorista de alimentos y/o lo obstaculizaron lo que ofrece lecciones para mejorar.
Gregurec et al. [14]	Las PYMES están cambiando sus modelos de negocio para adaptarse a este entorno cambiante.	Las PYMES se han visto afectadas económicamente debido a sus limitados recursos y conocimientos.	Se consideraron las ideas fundamentales de la autoeficacia empresarial, el bricolaje y la improvisación.
Khurana et al. [15]	Las MIPYMES es un sector dinámico de la economía ya que proporciona amplias oportunidades de empleo, contribuyendo social y económicamente a la estabilidad	Interrupción en las cadenas de suministro y ha puesto de manifiesto la urgencia de considerar los aspectos sociales de la sostenibilidad junto con las formas de aumentar la productividad de las empresas	El papel de gobernanza es el factor más importante que puede utilizarse para ayudar a reconstruir las industrias y las sociedades para lograr ser más resistentes a futuras crisis graves.

Syaifullah et al. [16]		Las MIPYMES declararon que habían dejado de producir debido a la COVID-19, alrededor del 63% pararon y pidieron a sus empleados que se tomaran un permiso remunerado o no remunerado. Además, hasta el 90% afirmó tener problemas de liquidez debido a la pandemia del COVID-19	El uso de los medios sociales para el marketing está influenciado por la compatibilidad, la utilidad percibida y la facilidad de uso que tiene un efecto positivo en el rendimiento de las MIPYMES.
Razumovskaia et al. [17]	Las PYMES son uno de los motores clave del desarrollo socioeconómico de un país y sus regiones, ya que garantizan la formación y la aparición de nuevos puestos de trabajo permanentes.	La pandemia de COVID-19 provocó un colapso de los precios del petróleo en el mercado mundial de la energía, lo que causó olas de devaluación del rublo; las actividades empresariales se ralentizaron.	Los métodos econométricos aplicados para evaluar empíricamente la eficacia y el grado de impacto de las medidas gubernamentales en el funcionamiento de las PYMES en condiciones de incertidumbre.
Effendy et al. [18]	Las microempresas son negocios productivos propiedad de individuos y/o entidades empresariales persona física o una entidad empresarial.	La limitación de las instalaciones e infraestructuras empresariales, especialmente las relacionadas con las herramientas tecnológicas.	Políticas gubernamentales para realizar la sostenibilidad y el desarrollo de sus negocios.
Noviarto y Samputra [19]	Las MIPYMES contribuyen de manera significativa al crecimiento económico sostenible e inclusivo.	El aumento de la pobreza debido a la pérdida de puestos de trabajo y al bloqueo económico, la crisis económica, la interrupción del comercio, el desempleo masivo, el fuerte descenso de las actividades turísticas y los enormes déficits públicos atacan la agenda de los Objetivos de Desarrollo Sostenible	Aplicación de teoría de la agencia y la teoría de la racionalidad limitada para realizar un estudio empírico más profundo sobre la capacidad de recuperación económica de las MIPYMES.
Kumar y Kumar [20]		Las Cadenas de Suministro Agroalimentario (AFSC) que se ocupan de artículos perecederos han tenido pérdidas durante la pandemia de COVID 19	Formular políticas efectivas por parte del gobierno y otras partes interesadas para mejorar la resiliencia de los AFSC.
Haryati [21]	Las MIPYMES de este sector (agricultura) poseen un efecto importante en la zona del turismo, el comercio y la industria.	La pandemia que se produjo causó despidos masivos en varias empresas y tuvo distintas repercusiones, en especial en el sector económico.	Realizar estrategias proactivas como la optimización del marketing digital, la utilización de la estrategia de penetración y la apertura de una asociación de soluciones beneficiosas para todos.

Fuente: Elaboración propia a partir de diversos autores.

Metodología

Para la elaboración del presente artículo se realizó un estudio bibliométrico de las afectaciones económicas de las micro y pequeñas empresas con la COVID-19, esta búsqueda se realizó a través de la base de datos de Scopus. Los siguientes resultados bibliométricos se obtienen a partir de los archivos descargados en Scopus como *tipo.bib*, y analizadas con el paquete *Bibliometrix R* [22].

Es de importancia mencionar, que la bibliometría es el estudio de aspectos de tipo cuantitativo de documentos científicos, así como su disseminación y uso de la información, desarrollando, por lo tanto, modelos y medidas matemáticas para realizar pronósticos y así tomar decisiones en base a dichos procesos [23]. Al respecto, se utilizó el software *Bibliometrix R* [24], el cual es una herramienta novedosa y reciente, por lo que, al realizar la revisión de literatura, se encontró que existen pocas publicaciones utilizando esta metodología. También se utilizó

la herramienta VOSviewer para realizar mapas bibliográficos. Aunque Bibliometrix se describirá más adelante, se programó en el lenguaje R para facilitar la interconexión con otros paquetes R. La interfaz es intuitiva y está bien organizada, incorporando análisis y gráficos para métricas de conocimiento (conceptual, intelectual y social). Las opciones de análisis son diversas y se subdividen en 7 categorías, divididas en las analíticas y gráficos antes mencionados: 1) Visión general, 2) Fuentes, 3) Autores, 4) Documentos, 5) Estructuras conceptuales, 6) Estructura intelectual y 7) Estructura social. Los gráficos y análisis de rendimiento generados pueden exportarse a varios tipos de formatos de archivo; las tablas pueden copiarse al portapapeles o guardarse como Excel o pdf [25].

Para cumplir el objetivo, de manera inicial se hizo la búsqueda en la plataforma de Scopus del tema “SMES-MSMES-COVID19” (SMES por sus siglas en ingles de pequeñas empresas y MSMES por microempresas) realizando la ecuación de búsqueda: :(TITLE-ABS-KEY covid 19 AND TITLE-ABS-KEY smes OR TITLE-ABS-KEY msmes). Posteriormente se exportaron las referencias, dando un total de 252 documentos, comprendidos del 2020 a julio del 2021. Realizando así el procesamiento mediante la herramienta *Bibliométrix R*, permitiendo realizar el análisis de la cantidad de artículos, autores, revistas, co-citaciones. Por lo tanto, se realizó el análisis bibliométrico tomando como referencia a Hasper et al. [26].

El análisis de los datos implica cuatro fases las cuales se ilustran en la Figura 1. La primera fase es la de búsqueda de la base de datos en formato .cvs y.bib, descargados de manera directa de Scopus, en la segunda fase se trasladaron estos archivos a R Bibliometrix, el cual es un software para efectuar este tipo de estudios bibliométricos: la ventaja de usar Bibliometrix es su flexibilidad al ser un software con código abierto [27]. En una tercera etapa con el fin de obtener ilustraciones descifrables referentes al tema de adopción de Blockchain, se construyeron gráficos en Excel, con el fin de obtener información representativa. Así mismo se obtuvieron mapas bibliométricos del software que incluye información compleja pero fácil de interpretar. Y por último en una cuarta fase se analizan los resultados de la tercera fase. La búsqueda de información en Scopus utilizó la ecuación de búsqueda y los datos de inclusión descritos en la Tabla 2.

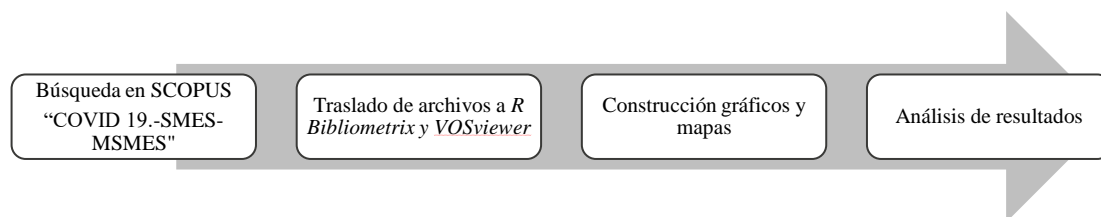


Figura 1. Proceso de búsqueda

Ecuación de búsqueda	Periodo	Idioma	Tipo de documento	Base de datos
(TITLE-ABS-KEY covid 19 AND TITLE-ABS-KEY smes OR TITLE-ABS-KEY msmes)	Todos los años (2020-2021)	Ingles	Article OR Book OR Book Chapter OR Book Review OR Proceedings Paper	Scopus

Tabla 2. Ecuación y datos de inclusión de búsqueda en Scopus

Con base a los resultados de búsqueda de Scopus, se observó que de los 252 artículos el mayor porcentaje es sobre artículos representando el 72%, observando la predominancia por lo cual se inicia la utilización del software R Bibliométrix para realizar la fase del análisis bibliométrico.

Resultados

Con base a la metodología utilizada se realizó el análisis de las Tablas y Figuras los cuales analizan distintas representaciones, como el año de publicaciones, países, revistas, autores, redes de co-citación, por lo que se tomó la clasificación de análisis propuesta por Villegas Valle et. al, [28] a partir de Durieux y Gevenois [29], donde manejaron que existen tres tipos de indicadores bibliométricos siendo los de cantidad, los indicadores bibliométricos de impacto y por último los indicadores bibliométricos de estructura. Los indicadores de cantidad miden la productividad de un investigador o grupo de investigación en particular. Los indicadores de

impacto miden la calidad de una revista, investigador o grupo de investigación. Por último, los estructurales miden las relaciones entre autores, publicaciones, palabras clave los cuales se describirán a continuación.

Indicadores bibliométricos de cantidad

Para realizar el análisis de los diferentes indicadores se toma como la base datos de datos de Scopus con los operadores booleanos "COVID19-SMES-MSMES" donde se observó que en la primera publicación con este tema fue en el año 2020, por lo que gradualmente fue aumentando con el paso de los meses, observándose que fue el inicio del auge del número de publicaciones ya que la temática fue adquiriendo importancia en la investigación científica, generando en ese año 101 documentos. Para el año 2021 se han alcanzaron 151 artículos, siendo la mayor productividad, demostrando así que el tema va teniendo mayor interés dentro de la comunidad científica, es fundamental recalcar que en el periodo de búsqueda solo transcurrieron 6 meses.

Al realizar el análisis de la producción científica por países, se observó que la Indonesia se destaca con 78 publicaciones, seguido de China con 47, Reino Unido con 40 y USA con 38; se pudo observar la ausencia de los países latinoamericanos, lo que demuestra la falta de desarrollo investigativo en este campo. Se encontró que la mayor producción se lleva a cabo por los países asiáticos, demostrando así que en esta región se lleva a cabo un mayor desarrollo en la investigación de este tema.

Con respecto a la productividad de las revistas, se detectó que la revista con mayor número de publicaciones con el tema es *SUSTAINABILITY (SWITZERLAND)* con 10 publicaciones, seguida de *JOURNAL OF ASIAN FINANCE ECONOMICS AND BUSINESS* y *JOURNAL OF ENTREPRENEURSHIP IN EMERGING ECONOMIES* con 7 documentos. Es importante mencionar, que la revista *JOURNAL OF BUSINESS RESEARCH* es la más citada, con 119 citaciones, siguiendo las revistas *SMALL BUSINESS ECONOMICS* con 105 citaciones, así como *SUSTAINABILITY* con 102 menciones, no es considerable el porcentaje acumulado de estas revistas, ya que existe un equilibrio en la distribución de las revistas, por lo tanto, no impera una sola para todos los registros de la base de datos analizada.

Las afiliaciones más relevantes de los académicos que han producido literatura sobre COVID-19 en las micro y pequeñas empresas, dadas por número de publicaciones y país, donde se observó que la universidad con mayor aportación es la *UNIVERSITY OF OCCUPATIONAL AND ENVIRONMENTAL HEALTH* perteneciente a Japón con 7 publicaciones, seguida de la *RZESZOW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY* de Polonia con 6 publicaciones, posteriormente la *TADULAKO UNIVERSITY* de Indonesia, así como el *UNIVERSITI PUTRA MALAYSIA* de Malasia con 5 publicaciones. Posteriormente se observó que estas universidades se encuentran en su mayoría en dos continentes, siendo el continente asiático el líder, donde nuevamente se observa que la región latinoamericana aun no encabeza la lista de las afiliaciones con mayor producción.

Indicadores bibliométricos de impacto

Para realizar el análisis bibliométrico de impacto, una determinante de importancia a observar son los autores con mayor número de citas, donde se tomó en cuenta su clasificación por número de citaciones, así como su índice h, en donde este indicador es empleado para medir la calidad científica de los investigadores de forma individual [30], Brown y Rocha [31] son quienes liderean las citaciones con un total de 62, siendo particularmente los que presentan mayor índice h seguido de Eggers [3] con 51 citaciones. A pesar de que Lu et al. [32] con 32 citaciones estando en noveno y décimo lugar, presentan un índice h de 2, el cual está por arriba de los otros autores.

Otro indicador de importancia es la medición de aquellos documentos con mayor índice de impacto en Scopus, por lo que el documento número uno con una citación de 51 veces es: "Masters of disasters? Challenges and opportunities for smes in times of crisis" [3]. En segundo lugar, con 43 citaciones, la publicación de nombre "The use of digital technologies by small and medium enterprises during covid-19: implications for theory and practice" [33]. Por lo tanto, son las publicaciones más mencionadas en la base de datos de Scopus.

Indicadores bibliométricos de estructura

Con respecto a este tipo de análisis, en la Figura 3, se muestra la red de colaboradores de autores donde se demuestra que los clústeres de los autores Dikhanbayeva, D.; Suleiman, Z.; Shaikholla, S. y Turkyilmaz, A., representan una fuerte colaboración entre ellos, ya que su radial es el que más grosor tiene. Además de Lu, Y.;

Lu, L.; Wu, J. y Peng, J. quienes en segundo lugar también representan una fuerte colaboración. Por lo tanto, como resultado de este análisis se puede observar que existe una gran colaboración entre los autores.

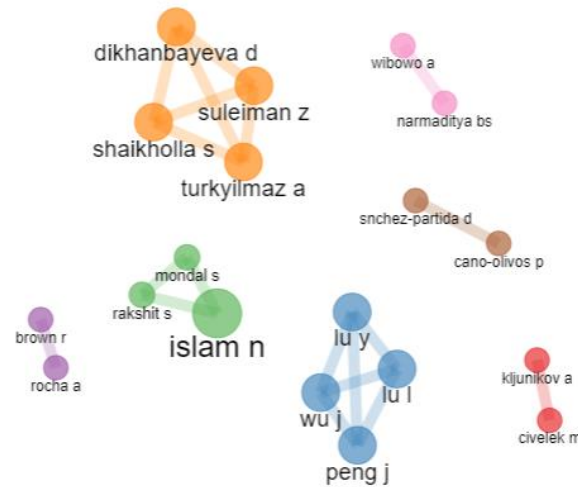


Figura 3. Red de colaboradores de autores

Por último, dentro de las palabras clave utilizadas con mayor frecuencia en las 252 publicaciones recuperadas de Scopus, las dos con mayor frecuencia son *COVID-19* con 124 recurrencias y *SMES* con 63 recurrencias, siendo consecuencia de los boléanos utilizados para la búsqueda, estas van seguidas de *small and medium enterprise*, también se identificó que la innovación es una palabra muy utilizada por diversos documentos, así como la palabra resiliencia ya que son las estrategias más utilizadas sugeridas por diversos autores. Para la obtención de esta red, se utilizó la base de escalamiento multidimensional para las palabras clave, dado por Huang et al. [34], generándose de manera automática por el software de *VOSviewer*. Por lo que, a través de este tipo de mapeo, se observa la relación que van teniendo los clústeres, así, por lo tanto, se destacan los temas investigados. Se puede observar que existe una mayor ocurrencia en la palabra clave *COVID-19*, centrándose los datos de manera más visible. La de menor ocurrencia vienen representados por bloques más pequeños.

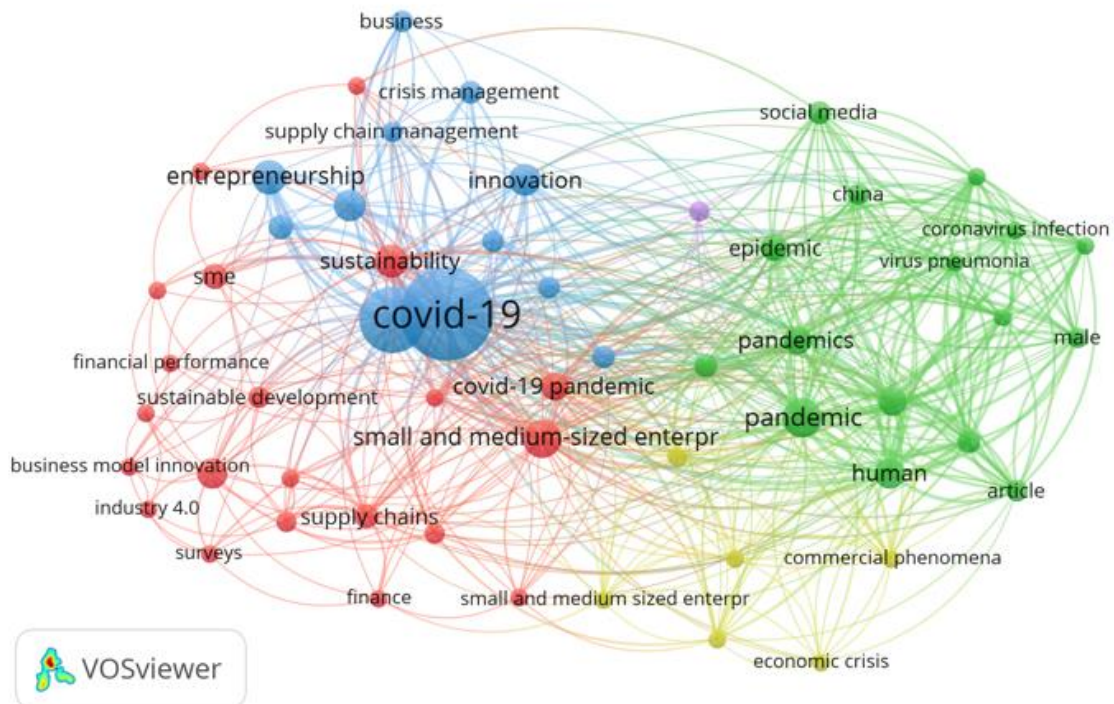


Figura 4. Red de concurrencia de palabras clave

Trabajo a futuro

Dada la magnitud de la incertidumbre crónica que recorre la economía mundial desde el estallido de la Covid-19, se necesitan urgentemente más trabajos académicos para examinar la forma en que la economía mundial se ha convertido en una realidad. Por lo tanto, la conmoción de la economía de las PYMES por la aparición de la pandemia COVID-19, crearán tanto retos y nuevas oportunidades que incluyen innovaciones emergentes o disruptivas en los procesos de servicio y negocio [35].

Conclusiones

El propósito del presente documento fue presentar un análisis bibliométrico que permita realizar un diagnóstico de la evolución y estado actual de las implicaciones que ha ocasionado la pandemia por la COVID-19 en las micro y pequeñas empresas a nivel mundial. Además, esto permitió identificar las principales fuentes de contribución al tema, donde este análisis utilizó una base de datos de Scopus y resultaron 252 documentos, donde se determina la tendencia que tiene la temática, observando el crecimiento de documentación anual para el siguiente año. Dentro de las citas más frecuentes, se observó a los autores Ross Brown y Augusto Rocha con su publicación "*Entrepreneurial uncertainty during the Covid-19 crisis: Mapping the temporal dynamics of entrepreneurial finance*" manejando 62 citas en su publicación, publicado por la revista *Journal of Business Venturing Insights*, donde sugirieron que las empresas incipientes son las más afectadas por la crisis, lo que corrobora una gran cantidad de literatura que infiere que la incertidumbre tiene consecuencias profundamente perjudiciales para las empresas de nueva creación y las pymes más innovadoras y opacas.

Por otra parte, se observó que el país con mayor número de documentos fue Indonesia, seguido de China, por lo que se analizó que el continente asiático es donde se realiza la mayor producción científica con este tema. Por último, los hallazgos aportan implicaciones ocasionadas por la pandemia, así como las estrategias a utilizar, observándose que las más sugeridas son el involucramiento por parte del gobierno, así como la generación de plataformas tecnológicas, como también el ajuste de los modelos de negocio y la utilización del marketing digital en los medios sociales.

Dentro de las futuras líneas de investigación, Papadopoulos et al. [33], propusieron que los profesionales, por tanto, deberían investigar, cómo la tecnología digital cambia los modos de trabajo de las pymes, además de estudiar sus implicaciones en cuanto a la privacidad de los datos de los usuarios, ya que esto ayudaría a apoyar la continuidad de las PYMES durante la COVID-19. Así mismo, Brown y Rocha [31] sugirieron que, al momento de la aplicación de apoyos gubernamentales, se debe realizar la evaluación de políticas en tiempo real para determinar la eficacia con la que los agentes empresariales responden a las medidas aplicadas, para hacer frente a las situaciones de crisis. En consonancia con estos apoyos, Lu et al. [32] sugirieron que el acceso a la financiación externa, podría mitigar los riesgos de interrupción del flujo de caja, reducir los costes de financiación y mejorar la disponibilidad de fondos reduciendo adecuadamente el tipo de interés de los préstamos, mejorando la política de renovación de los mismos y aumentando los préstamos de crédito.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por su apoyo económico brindado durante la realización de este proyecto. Así como al TecnNM Campus Tehuacán por las facilidades para realizar la estancia doctoral para la realización de este estudio.

Referencias

- [1] Kraus, S., Clauss, T., Breier, M., Gast, J., Zardini, A., y Tiberius, V. (2020). The economics of COVID-19: initial empirical evidence on how family firms in five European countries cope with the corona crisis. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*. <https://doi.org/10.1108/IJEBr-04-2020-0214>
- [2] Sánchez Ramos, K. J. (2020). Impacto Económico del COVID-19 en Colombia. Seminario Internacional. <https://hdl.handle.net/10983/24672>
- [3] Eggers, F. (2020). Masters of disasters? Challenges and opportunities for SMEs in times of crisis. *Journal of Business Research*, 116, 199-208. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.05.025>

- [4] Rodrigues, M., Franco, M., Sousa, N. y Silva, R. (2021). Covid 19 and the business management crisis: An empirical study in SMES. *Sustainability*, 13 (11), 5912. <https://doi.org/10.3390/su13115912>
- [5] Sultan, S. y Sultan, W.I.M. (2020). Women MSMEs in times of crisis: challenges and opportunities. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 27 (7), 1069–1083. <https://doi.org/10.1108/JSBED-06-2020-0226>
- [6] Mukherjee, M., Chatterjee, R., Khanna, BK, Dhillon, PPS, Kumar, A., Bajwa, S.,... Shaw, R. (2020). Ecosystem-centric business continuity planning (eco-centric BCP): A post COVID19 new normal. *Progress in Disaster Science*, 7, 100117.
- [7] Amuda, Y. J. (2020). Impact of coronavirus on small and medium enterprises (smes): towards postcovid-19 economic recovery in Nigeria. *Academy of Strategic Management Journal*, 19(6),1-11. <https://www.proquest.com/openview/7664ecdd3cdae99f4470784a5c8673db/1?pq-origsite=gscholar&cbl=38745>
- [8] Al-Hyari, K. (2020). Initial empirical evidence on how jordanian manufacturing smes cope with the COVID-19 pandemic. *Academy of Strategic Management Journal*, 19, 1-12. [https://doi.org/10.21511/ppm.18\(2\).2020.25](https://doi.org/10.21511/ppm.18(2).2020.25)
- [9] García-Villagrán, A., Cano-Olivos, P., Martínez-Flores, JL y Sánchez-Partida, D. (2020). The COVID-19 effect in mexican SMEs. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 5 (6), 63–71. <https://doi.org/10.25046/aj050608>
- [10] Harjadi, D., Yuniawan, A., Abdurrahman, A., Dananjoyo, R., Filatrovi, Ew, y Arraniri, I. (2020). Product Characteristics, Market Competitive Strategies, and SMEs Performance: Testing Their Relationships. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7 (10), 613–620. <https://doi.org/10.13106/jafeb.2020.vol7.no10.613>
- [11] Caballero-Morales, SO (2021). Innovation as recovery strategy for SMEs in emerging economies during the COVID-19 pandemic. *Research in international business and finance*, 57, 101396. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2021.101396>
- [12] Nurlinda, N., Sinuraya, J., Asmalidar, A., Hassan, R., & Supriyanto, S. (2021). Use of online applications in maintaining MSMEs performance during the COVID-19 pandemic. *Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, 7 (2), 80-94. <https://doi.org/10.26594/register.v7i2.2223>
- [13] S. Nordhagen, U. Igbeka, H. Rowlands, R. S. Shine, E. Heneghan, and J. Tench, “COVID-19 and small enterprises in the food supply chain: Early impacts and implications for longer-term food system resilience in low- and middle-income countries,” *World Development*, vol. 141, p. 105405, May 2021.
- [14] Gregurec, I., Tomičić Furjan, M., & Tomičić-Pupek, K. (2021). The impact of COVID-19 on sustainable business models in SMEs. *Sustainability*, 13(3), 1098. <http://www.doi.org/10.3390/su13031098>
- [15] Khurana, S., Haleem, A., Luthra, S., Huisingh, D., & Mannan, B. (2021). Now is the time to press the reset button: Helping India's companies to become more resilient and effective in overcoming the impacts of COVID-19, climate changes and other crises. *Journal of cleaner production*, 280, 12446 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124466>
- [16] Syaifullah, J., Syaifudin, M., Sukendar, M. U., y Junaedi, j. (2021). Social Media Marketing and Business Performance of MSMEs During the COVID-19 Pandemic. *The Journal of Asian Finance, Economics, and Business*, 8(2), 523-531. <https://doi.org/10.13106/JAFEB.2021.VOL8.NO2.0523>
- [17] Razumovskaia, E., Yuzvovich, L., Kniazeva, E., Klimenko, M., & Shelyakin, V. (2020). The Effectiveness of Russian Government Policy to Support SMEs in the COVID-19 Pandemic. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6(4), 160. <http://www.doi.org/10.3390/joitmc6040160>
- [18] Effendy, A., Sarwani, A. S., Erlangga, H., Siagian, A. O., Purwanto, A., Effendy, A. A., ... & Wahyitno, C. D. M. (2020). Optimization of MSMEs Empowerment in Facing Competition in the Global Market during the COVID-19 Pandemic Time. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 11(11), 1506-1515. <http://www.doi.org/10.31838/srp.2020.11.213>
- [19] Noviaro, S., & Samputra, P. L. (2021, March). MSME's sustainable economic behavior for struggling poverty: Agency theory vs. bounded rationality theory. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 716, No. 1, p. 012120). IOP Publishing. <http://www.doi.org/10.1088/1755-1315/716/1/012120>
- [20] Kumar, S. U., Kumar, D. T., Christopher, B. P., & Doss, C. G. P. (2020). The Rise and Impact of COVID-19 in India. *Frontiers in Medicine*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmed.2020.00250>
- [21] Haryati, N. (2021). Business model analysis of mushroom agroindustry and its sustainable development strategy in Covid-19 pandemic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733 (1), 012125) <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012125>

- [22] Kanda, A., y Deshmukh, S. G. (2008). Supply chain coordination: perspectives, empirical studies and research directions. *International journal of production Economics*, 115(2), 316-335. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.05.011>
- [23] Araújo Ruiz, J.A, y Arencibia J. R. (2002). Informetría, bibliometría y cienciometría: aspectos teórico-prácticos. *ACIMED*, 10(4), 5-6. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352002000400004&lng=es&tlng=pt
- [24] Aria, M., y Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- [25] Moral-Muñoz, J. A., Herrera-Viedma, E., Santisteban-Espejo, A., y Cobo, M. J.(2020). Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. *Profesional de la Información*, 29(1). <https://doi.org/10.3145/epi.2020.ene.03>
- [26] Hasper Tabares, J., Correa Jaramillo, J., Benjumea Arias, M., y Valencia Arias, A. (2017). Tendencias en la investigación sobre gestión del riesgo empresarial: un análisis bibliométrico. *Revista Venezolana de Gerencia*, 22(79), 506. <https://doi.org/10.31876/revista.v22i79.23036>
- [27] Dervis, H. (2019). Bibliometric analysis using bibliometrix an R package. *J. Scientometric Journal of Scientometric Research*, 8(3), 156–160. <https://doi.org/10.5530/jscires.8.3.32>
- [28] Villegas Valle, L., Walle-Vazquez, M. A., y Alvarez-Aros, E. L. (2021). Uso de las tecnologías de la información en los procesos decisorios: un análisis bibliométrico. *Revista Venezolana de Gerencia (RVG)*, 26(93), 92-109. <https://doi.org/10.52080/rvg93.08>
- [29] Durieux, V., y Gevenois, P. A. (2010). Bibliometric indicators: Quality measurements of scientific publication. *Radiology*, 255(2), 342–351. <https://doi.org/10.1148/radiol.09090626>
- [30] Hirsch, J. E. (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *PNAS*, 102(46), 16569–16572. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>
- [31] Brown, R., & Rocha, A. (2020). Entrepreneurial uncertainty during the Covid-19 crisis: Mapping the temporal dynamics of entrepreneurial finance. *Journal of Business Venturing Insights*, 14, e00174. <https://doi.org/10.1016/j.jbvi.2020.e00174>
- [32] Lu, Y., Wu, J., Peng, J., & Lu, L. (2020). The perceived impact of the Covid-19 epidemic: evidence from a sample of 4807 SMEs in Sichuan Province, China. *Environmental Hazards*, 19(4), 323-340. <https://doi.org/10.1080/17477891.2020.1763902>
- [33] Papadopoulos, T., Baltas, K. N., & Balta, M. E. (2020). The use of digital technologies by small and medium enterprises during COVID-19: Implications for theory and practice. *International Journal of Information Management*, 55, 102192. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102192>
- [34] Huang, J.J., Tzeng, G.H. y Ong, C.S. (2005). Multidimensional data in multidimensional scaling using the analytic network process. *Pattern Recognition Letters*, 26(6), 755-767. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2004.09.027>
- [35] Rowan, N. J., & Galanakis, C. M. (2020). Unlocking challenges and opportunities presented by COVID-19 pandemic for cross-cutting disruption in agri-food and green deal innovations: Quo Vadis?. *Science of the Total Environment*, 141362. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141362>

Diagnóstico de Competitividad Organizacional en una MiPyme de Orizaba, Veracruz.

N. Hernández Marroquín ¹, M. Ponce San Juan ¹,
G. Cabrera Zepeda², M. Salazar Medina ², F. Aguirre y Hernández ²

¹ Estudiante de Maestría en Ingeniería Administrativa del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba.

² División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba.
Avenida Oriente 9 No. 852 Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Ver

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

Se realizó un análisis situacional en una empresa privada de servicios, aplicando el modelo DCO (Diagnóstico de Competitividad Empresarial), con la finalidad de conocer indicadores que muestran la evolución y madurez competitiva de la organización. Este análisis mide el desperdicio organizacional que son los recursos que la empresa utiliza, pero no son aprovechados de manera óptima; el nivel de avance o madurez que tiene la organización para competir en el mercado y el porcentaje de entrenamiento que requieren los colaboradores para ser competitivos de acuerdo con el modelo ECAI (Educación, Capacitación, Adiestramiento e Instrucción).

La presente investigación tuvo como objetivo de estudio, evaluar a una organización ubicada en la región de Orizaba, Veracruz, bajo una metodología descriptiva transversal, definiendo características en un periodo específico, utilizando como herramienta un cuestionario que abarcó los principios de competitividad a través de 112 indicadores, aplicado a todos los niveles jerárquicos de la organización.

Palabras clave: Competitividad, Diagnóstico, Entrenamiento, Organizaciones

Abstract

A situational analysis was carried out in a service company, applying the DCO model (Diagnosis of Business Competitiveness), in order to know indicators that show the evolution and competitive maturity of the organization. This analysis measures organizational waste, which are the resources that the company uses, but there are not used optimally; the level of maturity that the organization has to compete in the market and the percentage of training required by employees to be competitive according to the ECAI model (Education, Competitiveness, Training and Instruction).

The objective of this research was to evaluate an organization located in the region of Orizaba, Veracruz, through a cross-sectional descriptive methodology, defining characteristics in a specific period, using as a tool a questionnaire that covered the principles of competitiveness. It was through 112 indicators, applied to all command levels of the organization.

Key words: Competitiveness, Diagnosis, Training, Organizations

Introducción

La realización de un diagnóstico organizacional permite conocer el estado actual de las empresas, obteniendo métricas que evalúan diversas áreas y definir las causas de los posibles problemas encontrados. Tomando esta información como respaldo en la toma de decisiones para reestructurar, redirigir o crear nuevas metas y proyectos en beneficio de la organización [1].

El diagnóstico es la puerta que permite a las empresas conocer lo que sucede en los procesos organizativos, administrativos y productivos, y saber cuáles son obstáculos para tener los resultados que espera [2]. El conocer estas áreas de oportunidad, ayuda a identificar a los directivos que acciones tomar para poder alcanzar los objetivos y metas planteadas.

En México según el INEGI en el 2019 las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPymes) representaban el 99.8%, sin embargo, el comportamiento que tuvieron por la emergencia sanitaria de la pandemia por COVID-19 las llevó a tener comportamientos de pausas de actividades temporales, cambios de giros o muchos cierres definitivos. Por tanto, a nivel nacional en 2020 por cada 100 personas que estaban ocupadas 27 personas dejaron de trabajar por cierres de establecimientos, un aumento de 7 personas en comparación con 2019 [3].

Además, que por sus características y falta de estructura en muchos casos las MiPymes presentan grandes cambios en cuanto ingresos, rotación de personal, cierres y aperturas [2]. Por lo que, a través de los diagnósticos se puede redireccionar los recursos humanos, financieros, tecnológicos y materiales, utilizando los recursos con los que ya cuenta, evitando desperdicio y esfuerzos mal direccionados que no suman al objetivo principal que es mantenerse en el mercado y apuntalar a un crecimiento.

La transformación de las empresas se puede dar por medio de un cambio organizacional basado en modelos de capacitación y la implementación de un plan sobre cultura organizacional en todas las áreas y personas de todos los niveles [4]. Para el desarrollo del plan se requiere conocer la deficiencia que se tiene en los programas implementados en las organizaciones.

Por medio del Diagnóstico de Competitividad Organizacional (DCO) desarrollado por Martín G. Álvarez Torres y Pablo Casar Palacios [5] que considera los principios de competitividad, se puede conocer las variables de medición sobre el nivel de madurez y desperdicio organizacional de la empresa, y el porcentaje de entramiento del modelo ECAI (Educación, Capacitación, Adiestramiento e Instrucción), mediante una entrevista aplicada a la mayoría del personal de la empresa. Que son variables críticas con las que la compañía podrá implementar estrategias diseñadas que le aseguran ser altamente competitiva.

El Nivel de madurez se considera para éste estudio como el grado de competitividad que tiene una organización, es decir, su capacidad para responder a las necesidades del mercado satisfactoriamente y en comparación con las demás empresas del ramo, incrementando su participación, utilidades y disminuyendo consistentemente el desperdicio organizacional a través del desarrollo del personal altamente motivado y entrenado, proporcionar bienes y servicios que demandan los clientes y alcanzar resultados de negocio sanos necesarios para satisfacer a los accionistas. El nivel de madurez se califica en una escala del 0% a un 100%

El Desperdicio organizacional se entiende como el conjunto de recursos en poder de la compañía, los cuales no le agregan valor a su mercado, ya que se utilizan de formas no optimizadas ni enfocadas, por lo que sólo le agregan costo. Se califica en una escala del 0% al 60%

Dentro del DCO se incluye la medición de 112 indicadores de competitividad, los cuales permiten realizar el análisis de la empresa y generar datos estadísticos para posicionar a la empresa en un nivel de madurez, éstos se agrupan en siete componentes internos:

- I. Cultura organizacional
- II. Nivel de concientización, integración, compromiso y participación con la organización
- III. Nivel y estilo de comunicación y toma de decisiones
- IV. Nivel y desarrollo del potencial organizacional
- V. Nivel de conceptualización de la calidad y la productividad
- VI. Visualización del entorno competitivo
- VII. Nivel de conocimiento de posición competitiva

Considerando los resultados del nivel de madurez y desperdicio organizacional se determina la etapa donde se encuentra la organización, para posteriormente trabajar en las estrategias necesarias en su mejora, las etapas son las siguientes:

Etapa I. Control de calidad convencional: en esta etapa la organización necesita definir de manera explícita y formal los principales valores, objetivos, indicadores, políticas y procedimientos en todas las áreas y niveles de mando.

Etapa II. Normalización: en la segunda etapa, la organización cuenta con el conocimiento suficiente para iniciar una depuración de actividades que no agregan valor al mercado, lo cual posibilita a la compañía de explorar nuevos sistemas, procesos, productos o mercados, así como iniciar acciones de mejora continua que permita consolidar su estatus de estabilidad y confiabilidad para asegurar el cumplimiento de compromisos con su mercado.

Etapa III. Mejora: esta etapa se caracteriza por el constante cuestionamiento de objetivos, acciones y actitudes, reflejando un desarrollo integral de su personal y el crecimiento constante en las utilidades como consecuencia de la satisfacción del mercado y disminución del desperdicio organizacional.

Etapa IV. Excelencia (mejora continua): en esta última etapa, la organización es capaz de anticiparse a cualquier cambio del mercado, debido a que la velocidad de respuesta y postura de liderazgo la hacen merecedora del rol para dictar las reglas del juego en aspectos de tecnología, comercialización, desarrollo humano, entre otros.

Después de generar el posicionamiento de la empresa en una de las etapas de madurez y competitividad es utilizada la Estrategia de Entrenamiento: Modelo ECAI, para hacer la planeación requerida del mismo, en donde se usan las diversas estrategias definidas como:

Educación: es toda la información que otorga la empresa a sus colaboradores respecto a su cultura organizacional, este elemento es de suma importancia ya que es el vínculo que crea la empresa con el que el colaborador al sentirse identificado con su filosofía y razón de ser.

Capacitación: son los conocimientos generales que la empresa le proporciona al colaborador al momento de ser contratado, para desarrollar competencias, desempeñando eficientemente sus funciones del puesto [6].

Adiestramiento: son los datos e información que la empresa proporciona a sus colaboradores sobre funciones en específico para ayudarlo a reforzar y mejorar en sus labores diarias, con la finalidad de especializarlos en su puesto [7].

Instrucción: define, comunica y recibe los procesos de las actividades que realiza el colaborador y de las que debe delegar en su puesto de trabajo si es que existen, además de establecer las líneas de comunicación.

Metodología

El objetivo de la aplicación del DCO en una MiPyme fue definir la etapa de evolución y madurez competitiva en la que se encontraba la empresa al momento de realizar la evaluación, con la finalidad proponer estrategias de crecimiento, además de encontrar un equilibrio en su entrenamiento por medio del modelo ECAI.

El estudio se llevó a cabo en una MiPyme de la región Córdoba – Orizaba, Veracruz, que oferta servicios de comercialización de seguros y seguridad privada por medio de custodios a otras empresas e instituciones, con una plantilla de 58 colaboradores en el momento que se realizó el estudio, que fue durante el segundo semestre del año 2021.

De acuerdo con la metodología del modelo DCO, se realizó un estudio descriptivo transversal que se caracteriza por que el investigador se limita a medir la presencia de cierta característica o fenómeno en una población determinada [8], y transversal por ser realizada en un periodo específico [9]. Las variables que se evaluaron son el nivel de madurez o avance y el desperdicio organizacional.

Desarrollo

Fase 1: Vinculación con el sector productivo

Por medio del Tecnológico Nacional de México campus Orizaba se hizo la vinculación con una MiPyMe, con la finalidad de observar y medir un caso real de una organización. Se realizó la solicitud y obtención de aprobación por parte de la empresa para realizar el DCO.

Fase 2: Planeación y Organización

Siguiendo la metodología que marca el DCO, se debe encuestar al 100% del personal en los niveles directivos, gerentes nivel I y II, jefes de áreas y supervisores. Y al menos un 30% de los empleados y personas sindicalizado. En la organización se dividieron a los colaboradores en dos grandes áreas: administrativa con 8 colaboradores considerando al director general, y operativa con 50 empleados.

Se encuestó a los 8 colaboradores del área administrativa cumpliendo con el 100% que marca el DCO y se realizó un muestreo no aleatorio de conveniencia donde se seleccionaron los colaboradores del área operativa, considerando como característica similar la cercanía a la ciudad de Orizaba [10], por cuestiones de logística en las funciones y horarios de los colaboradores, por lo que la representatividad la determinó la organización en la que se realizó el estudio, encuestando un total de 20 trabajadores del área operativa, obteniendo un total de 28 encuestas.

Preparación de los instrumentos. Impresión del instrumento empleado, este se encuentra en forma de encuesta compuesto por 99 preguntas puntuales, con las cuales se puede obtener la calificación de cada una, para que posteriormente con dichos resultados se obtengan otras calificaciones que permitan analizar los 112 indicadores que posibilitan reconocer el nivel de avance en el cual se encuentra la organización. Además de detectar y validar 39 indicadores de los 112 por parte del equipo directivo.

Programación del levantamiento de encuestas. En conjunto con personal directivo se realizó la calendarización para el levantamiento de encuestas, empezando con el personal administrativo, programando citas en día y horarios en los que no les afectara en sus funciones, realizando las encuestas de manera presencial en los lugares designados y en videollamada, de acuerdo con las medidas de seguridad. El área operativa, se programó de acuerdo con las visitas de campo que la empresa realizaba de manera presencial, para aplicar la encuesta.

Fase 3: Recopilación de datos

De acuerdo con la programación realizada se aplicaron las encuestas, iniciando con el área administrativa que se encontraban en oficina conformada por 8 colaboradores contando al Director y dueño de la MiPyMe. Posteriormente se encuestó a los colaboradores del área operativa la División de Seguridad, ellos son guardias con distintas locaciones de trabajo ubicados en las ciudades de Río Blanco, Orizaba, Ixtaczoquitlán del Estado de Veracruz, además del estado de Puebla. Para la aplicación de encuestas se han visitado todas las locaciones a excepción de la ciudad de Puebla, esta situación ocasionó que el proceso fuera más lento ya que el personal no siempre está disponible (por sus horarios y cargas de trabajo) además de que se buscó no perjudicar las labores de la empresa. Los guardias que fueron encuestados suman 20. Finalmente, el cuestionario se aplicó al 100% de los colaboradores del área administrativa y al 52% del área operativa; obteniendo un total de 28 encuestas realizadas.

En esta fase se destaca la colaboración de la MiPyme, ya que fue muy importante y valiosa al permitir que sus colaboradores dedicaran tiempo de su jornada laboral para contestar el cuestionario, además de la confianza otorgada hacia el instrumento de evaluación y la institución que respaldaba el estudio.

Fase 4. Análisis de resultados

Se digitalizó la información de las encuestas que se tenían en formato impreso, creando una base de datos, se inició con el procesamiento de la información para obtener el resultado de los 112 indicadores, siguiendo la metodología.

A continuación, se detalla los cálculos matemáticos para las variables a evaluar:

Nivel de Madurez

Se clasificaron los 112 indicadores en 7 componentes, para hacer más efectivo el análisis.

Tabla 1. Componentes Nivel de Madurez de la Organización

Componente	Numero de Indicadores	Máxima calificación por alcanzar (A)
A) Cultura Organizacional	11	1,100
B) Nivel de Concientización y Participación con la Organización.	18	1,800
C) Nivel y Estilo de Comunicación, Liderazgo, y Toma de Decisiones.	37	3,700
D) Nivel de Desarrollo del Potencial Organizacional	15	1,500
E) Nivel del Entorno Externo Competitivo	15	1,500
F) Visualización del Entorno Externo Competitivo	2	200
G) Nivel de Conocimiento de la Posición Competitiva	14	1,400
TOTAL	112	11,200

El nivel de avance o madurez se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Nivel de Avance} = \frac{(\text{Suma de los 112 Indicadores})}{11,200} (\text{Factor Cultura Organizacional}) \times 100$$

Nivel de Desperdicio

Para fines de medición de la variable Desperdicio Organizacional los 112 indicadores se agrupan en 10 conceptos

Tabla 2. Concepto del Nivel de Desperdicio

CONCEPTO	(A) Máximos Puntos Porcentuales
1. Misión, Filosofía, Normas, Valores y Políticas.	5
2. Descripción de Puesto.	5
3. Proceso de Planeación Estratégica.	5
4. Lay Out (Flujos).	5
5. Proceso de Captura - Análisis de Información.	5
6. Plan y Programa Global de Entrenamiento.	5
7. Planes y Programas Administrativos y Operativos.	10
8. Proyectos de Mejora.	5
9. Solución de Problemas.	5
10. Otros: Productividad y Rotación de Personal.	10

Estrategia de Entrenamiento, Modelo ECAI

$$\% \text{ Educación} = \frac{E}{T + A} \times 100$$

$$\% \text{ Capacitación} = \frac{C + A}{T + A} \times 100$$

$$\% \text{ Adiestramiento} = \frac{A}{T + A} \times 100$$

$$\% \text{ Instrucción} = \frac{I}{T + A} \times 100$$

Dónde,

E = sumatoria de los puntos obtenidos en Educación
 C = sumatoria de los puntos obtenidos en Capacitación
 A = sumatoria de los puntos obtenidos en Adiestramiento
 I = sumatoria de los puntos obtenidos en Instrucción
 T = sumatoria de todos los puntos obtenidos en la evaluación.

De acuerdo con el modelo ECAI, en la tabla 1 se puede visualizar los puntajes máximos que una organización puede alcanzar.

Tabla 3. Dosis de entrenamiento requerida

Estrategia	No. Total, de Indicadores	(I) Máximo Puntaje a Alcanzar
E Educación	51	5,100
C Capacitación	8	800
A Adiestramiento	29	2,900
I Instrucción	24	2,400
TOTAL	112	11,200

Resultados y discusión

Madurez Organizacional

De acuerdo con los datos en la tabla 4, el nivel de Madurez de la MiPyMe es de 78.6% en una escala del 0% al 100%, lo que posiciona a la empresa en un nivel alto que hace que la empresa pueda incrementar continuamente su participación en el mercado.

Se puede observar que el nivel de conocimiento por parte de los colaboradores en cuanto a la posición competitiva que tiene la empresa, es su mayor fortaleza, sin embargo, se debe reforzar los programas de cultura organizacional y la visualización del entorno competitivo, componentes donde su nivel de cumplimiento es fue del 47%.

Tabla 4. Resultados Nivel de Madurez Organizacional

Componente	Numero de Indicadores	Máxima calificación Por Alcanzar (A)	Puntos Obtenidos (B)	% de Cumplimiento (B/A) x 100
A) Cultura Organizacional	11	1,100	513	47%
B) Nivel de Concientización y Participación con la Organización.	18	1,800	893	50%
C) Nivel y Estilo de Comunicación, Liderazgo, y Toma de Decisiones.	37	3,700	2,106	57%
D) Nivel de Desarrollo del Potencial Organizacional	15	1,500	1,032	69%
E) Nivel del Entorno Externo Competitivo	15	1,500	869	58%
F) Visualización del Entorno Externo Competitivo	2	200	94	47%
G) Nivel de Conocimiento de la Posición Competitiva	14	1,400	1,132	81%
TOTAL	112	11,200	6,639	59%

Nivel de Madurez = $11,200 / 6,639 \times 47\% \times 100 = 78.6\%$

Desperdicio Organizacional

El nivel de Desperdicio Organizacional es de 37.8% de una escala del 0% al 60% de acuerdo con los resultados de la tabla 5. Se considera que una organización debería tener nulas pérdidas de recursos, sin embargo, podemos observar que la empresa analizada tiene un alto nivel, dado principalmente por la productividad y rotación de personas con un 8.0%, seguido por los planes y programas administrativos y operativos con 6.8%.

Tabla 5. Resultados Nivel de Desperdicio Organizacional

CONCEPTO	(A) Máximos Puntos Porcentuales	% de cumplimiento	(B) % de incumplimiento	Desperdicio (A)(B)
1. Misión, Filosofía, Normas, Valores y Políticas.	5	43%	57%	2.8
2. Descripción de Puesto.	5	33%	67%	3.3
3. Proceso de Planeación Estratégica.	5	35%	65%	3.3
4. Lay Out (Flujos).	5	65%	35%	1.8
5. Proceso de Captura - Análisis de Información.	5	55%	45%	2.3
6. Plan y Programa Global de Entrenamiento.	5	33%	67%	3.3
7. Planes y Programas Administrativos y Operativos.	10	32%	68%	6.8
8. Proyectos de Mejora.	5	34%	66%	3.3
9. Solución de Problemas.	5	40%	60%	3.0
10. Otros: Productividad y Rotación de Personal.	10	20%	80%	8.0
Total				37.8

La etapa de evolución y madurez competitiva en la que se encuentra la empresa es la de Mejora de acuerdo con la tabla 6, donde la cultura organizacional tiene como característica principal el desarrollo integral del personal y tendencia de resultados positivos. Aunque la organización se encuentre en una etapa fuerte, debe continuar su evolución hasta posicionarse en la etapa de excelencia, de la misma forma reducir su desperdicio.

Tabla 6. Etapas de Evolución y Madurez Competitiva

Etapa de Evolución	% de avance	% de Desperdicio*
I. Control de calidad Convencional	0.0 - 30.0%	Mayor al 30%
II. Normalización.	30.01 - 70%	10.01 - 30.0%
III. Mejora.	70.01 - 90.0%	5 - 15.0%
IV. Excelencia	90.01 - 100.0%	Menor al 5%

Características de las organizaciones en la etapa de mejora:

- El personal cuenta con objetivos claros y específicos.
- La calidad es una estrategia.
- El entrenamiento es efectivo.
- El personal se autocontrola.
- Los problemas se resuelven en equipo.
- La competitividad es reconocida por los clientes.
- El desperdicio disminuye.
- El desarrollo de los colaboradores asegura su plan de vida y carrera.

Modelo ECAI

El modelo ECAI, otorga el nivel de entrenamiento que requiere la organización, los resultados obtenidos de la se pueden observar en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados de dosis de entrenamientos en la organización

Estrategia	Indicadores	Total, de puntos obtenidos
Educación	51	2,668.77
Capacitación	8	415.53
Adiestramiento	29	2,135.93
Instrucción	24	1,485.65
Sumatoria	112	6705.88

De acuerdo con el modelo ECAI, se saca una diferencia entre el máximo puntaje a alcanzar y el total de puntos alcanzados:

Tabla 8. Diferencia del puntaje máximo a alcanzar y puntos alcanzados por cada estrategia del modelo.

Estrategia	No. Total, de Indicadores	(I) Máximo Puntaje a Alcanzar	(II) Total de Puntos Alcanzados	Diferencia (I-II)
E Educación	51	5100	2,669	E= 2,431
C Capacitación	8	800	416	C= 384
A Adiestramiento	29	2900	2,136	A= 764
I Instrucción	24	2400	1,486	I= 914
TOTAL	112	11200	6,706	T= 4,494

Finalmente se obtuvo los porcentajes de dosis de entrenamientos de las estrategias, por medio de los cálculos establecidos a continuación

$$\% \text{Educación} = \frac{E}{T+A} (100) = \frac{2,431}{4,494+764} (100) = 46\%$$

$$\% \text{Capacitación} = \frac{C+A}{T+A} (100) = \frac{384+764}{4,494+764} (100) = 22\%$$

$$\% \text{Adiestramiento} = \frac{A}{T+A} (100) = \frac{764}{4,494+764} (100) = 15\%$$

$$\% \text{Instrucción} = \frac{I}{T+A} (100) = \frac{914}{4,494+764} (100) = 17\%$$

De un 100% que conforma el modelo ECAI, el ideal busca un equilibrio entre las cuatro estrategias de entrenamiento, como se puede observar en la ilustración 1, el 46% corresponde a educación que son los conocimientos generales que la empresa debe proporcionar a todos sus colaboradores para poder realizar de manera más eficiente su trabajo. Se propone un plan de trabajo que no solo se enfoque en cursos, sino en generar sinergia con las actividades dinámicas relacionadas con todas las áreas y niveles organizacionales.

Dosis de entrenamiento Requerida en la Organización

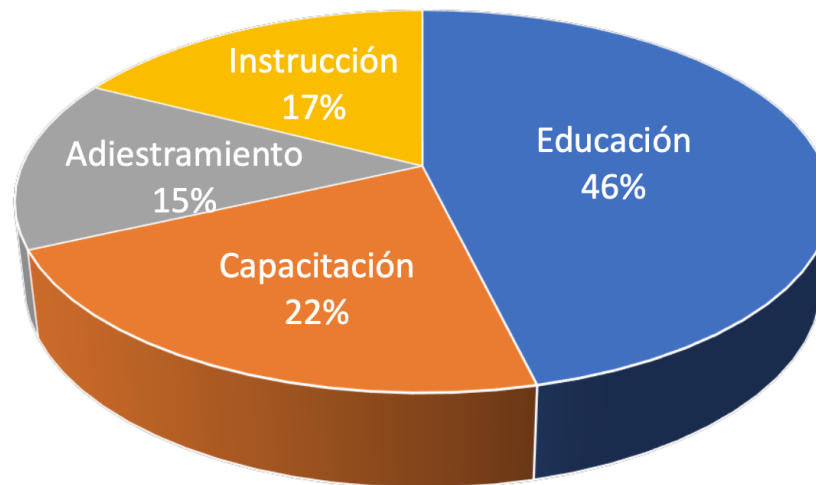


Ilustración 1. Porcentaje de dosis de entrenamiento requerida en la organización

Los resultados del modelo ECAI deben considerarse en el momento que la empresa organice sus estrategias de entrenamiento. Cada una de estas sesiones de entrenamiento para los empleados deben cubrir los indicadores que previamente están especificados, debido a que la calificación está relacionada proporcionalmente a las respuestas obtenidas de los colaboradores que participaron en las encuestas, lo que hace que este resultado sea una representación fiel de las necesidades de la empresa.

Trabajo a futuro

Los resultados obtenidos junto con herramientas de la administración y planeación organizacional ofrecen la pauta para la planeación de estrategias de entrenamiento a los colaboradores de la MiPyme, las cuales por medio de una gestión adecuada de implementación servirán en el cumplimiento de objetivos, incrementando el valor y diferenciación de la empresa en el mercado. Por lo cual se pueden hacer investigaciones futuras desarrollando la aplicación y evaluación de estrategias para la organización.

Conclusiones

Gracias a la culminación del DCO se identificó que la MiPyme evaluada tiene un nivel de desperdicio de 37.8% lo que permite ubicarla en la etapa de evolución 1, denominada: Control de calidad convencional. Lo que significa que la organización tiene carencia de sistemas operativos y administrativos de calidad, no tiene bien claro cual es la dirección estratégica, el entrenamiento hacia los colaboradores es poco y no es considerado importante y finalmente el desperdicio que se presenta es elevado.

En un segundo plano se estableció que tiene un nivel de maduración de 76.2% lo que la identifica en la etapa de evolución 3 denominada: Mejora. Por lo que se conoce que parte del personal tiene objetivos bien planteados, además de tener auto control y regulación del desperdicio, siendo el impacto generado en los clientes una percepción de un nivel elevado de competitividad.

Al realizar un análisis de los preceptos que fueron tratados en la obtención de los niveles anteriores fue posible identificar áreas de oportunidad específicas en la MiPyme, lo cual ofrece información precisa y valiosa a la misma en el desarrollo de la estrategia mediante el modelo ECAI, debido a que es un medio por el cual se identifica el requerimiento de educación, capacitación, adiestramiento e instrucción en los empleados, puesto que cada uno

de ellos deben conocer la información completa de la empresa, la razón de ser, motivación, objetivos, planes futuros, valores, procedimientos, reglamento, entre otra información que les permita conocer e identificarse con la organización.

Por lo anterior se encontraron áreas de oportunidad muy específicas en esta MyPime, las cuales son: El desarrollo de la Cultura Organizacional, conformada por la mentalidad de excelencia y clima positivo, bajo un marco normativo que formaliza el equipo directivo. Así mismo se identificó la necesidad de tener una visualización del entorno externo competitivo, formado por la competencia que existe en el mercado y de éste, la porción que cada competidor posea, refiriéndose a la importancia de que cada uno de los empleados tenga el conocimiento de la competencia, puesto que deben contar con la información que les permita el desarrollo en plenitud de sus habilidades, generando un sentido de urgencia por un servicio de excelencia. Finalmente, pero no menos importante se debe generar un nivel de concientización y participación con la organización, creando un clima de participación voluntaria, comprometidos a la mejora continua de factores como la seguridad de su trabajo, confianza, credibilidad, orden, disciplina, reconocimiento, delegación de responsabilidad, aportación de conocimientos, entre otros.

La MiPyme de la ciudad de Orizaba será capaz de realizar la planeación de la estrategia de entrenamiento según lo que requieren sus colaboradores haciendo mayor énfasis en educación, con la finalidad de obtener el compromiso y fidelización de cada uno de ellos para con la empresa, mejorando la cultura organizacional.

En definitiva se han cumplido el objetivo principal de la aplicación del DCO, el cual es conocer la situación actual de la empresa, además de los objetivos específicos que incluyen definir el nivel de avance o madurez de la empresa, conocer el nivel de desperdicio de la empresa, definir las dosis de entrenamiento, referente a educación, capacitación, adiestramiento e instrucción requerida al personal, mediante el modelo ECAI y encontrar áreas de oportunidad dentro de la compañía en las cuales se puedan implementar mejoras. Reforzando la importancia del análisis organizacional en las empresas, debido a la información valiosa que ofrece a las áreas que toman decisiones gerenciales, con una visión de liderazgo y generación de valor en todo el ecosistema de la organización.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba por realizar la vinculación del sector privado con los estudiantes de su programa maestría en Ingeniería Administrativa y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por los recursos brindados.

Referencias

- [1] V. Portugal, *Diagnóstico Empresarial*, 1ra. Colombia: Fondo editorial Areandino, 2017.
- [2] F. A. Rincón, «El diagnóstico empresarial como herramienta de gestión gerencial», *Aglala*, vol. 3, n.º 1, Art. n.º 1, dic. 2012, doi: 10.22519/22157360.887.
- [3] INEGI, «COMUNICADO DE PRENSA NÚM. 790/21 EL INEGI PRESENTA LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO SOBRE LA DEMOGRAFÍA DE LOS NEGOCIOS 2021», dic. 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/EDN/EDN_2021.pdf
- [4] R. I. Velasco Cepeda, «Modelo de cultura organizacional y alineación estratégica para una maquiladora de exportación». Itson, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.itson.mx/publicaciones/Documents/tesis-doct/modelodecultura.pdf>
- [5] M. G. Alvarez Torres y P. Casar Palacios, *Estrategias efectivas para incrementar su posición competitiva*. México: Panorama, 1994.
- [6] M. P. O. Changuán, «Capacitación del talento humano y productividad: Una revisión literaria», *ECA Sinerg.*, vol. 11, n.º 2, pp. 166-173, jul. 2020, doi: 10.33936/eca_sinergia.v11i2.2254.
- [7] RAE, «adiestrar, adiestrarse | Diccionario panhispánico de dudas», «*Diccionario panhispánico de dudas*». <https://www.rae.es/dpd/adiestrar> (accedido 22 de junio de 2022).
- [8] J. Veiga de Cabo, E. de la Fuente Díez, y M. Zimmermann Verdejo, «Modelos de estudios en investigación aplicada: conceptos y criterios para el diseño», *Med. Secur. Trab.*, vol. 54, n.º 210, mar. 2008, doi: 10.4321/S0465-546X2008000100011.
- [9] G. P. G. Alban, A. E. V. Arguello, y N. E. C. Molina, «Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)», vol. 4, p. 11, 2020.

[10] kimberly Galarza Ventura, «Tipos de Muestreo». [En línea]. Disponible en:
<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/>

Implementación de la seguridad y salud en el trabajo en pymes del Departamento de La Guajira

Autor 1^{1*} Wendy Ramirez Cardeño; 2², Joice Cardeño Portela; 3³ Aslin Botello Plata; 4⁴ Mariluz Uribe Orrego; 5⁵, Anyelica Delgado Cobo.

Universidad de La Guajira, wramirez@uniguajira.edu.co, jjcardenop@uniguajira.edu.co,
aslin.botello@uniguajira.edu.co, muribeo@uniguajira.edu.co, apdelgado@uniguajira.edu.co

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

La investigación, ofrece una visión respecto la implementación de los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud (SG-SST) en el Trabajo, analizando el cumplimiento normativo vigente y el impacto en las condiciones de salud y trabajo. El objetivo estuvo centrado en diagnosticar la implantación del SG-SST en Pymes, enfoque epistemológico positivista mediante utilización del método cuantitativo, no experimental, transeccional descriptivo, buscando analizar 293 pymes registradas en la Cámara de Comercio de la Guajira. Los datos fueron analizados utilizando estadística descriptiva y los resultados obtenidos permitieron demostrar, que muchas empresas desconocen la normatividad en SST, impactando negativamente en accidentes, incidentes, enfermedades y ausentismo laboral. En este sentido, estudios de este tipo infiere la necesidad de promover ambientes laborales seguros y saludables las pymes.

Palabras clave: Salud, Trabajo, Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud (SG-SST), Pymes.

Abstract

The research offers a vision on the implementation of Safety and Health Management Systems (SG-SST) at work, analyzing the current regulatory compliance and the impact on health and working conditions. The objective was focused on diagnosing the implementation of the OSHMS in SMEs, positivist epistemological approach using the quantitative, non-experimental, descriptive transectional method, seeking to analyze 293 SMEs registered in the Chamber of Commerce of La Guajira. The data were analyzed using descriptive statistics and the results obtained showed that many companies are unaware of OSH regulations, which has a negative impact on accidents, incidents, illnesses and absenteeism. In this sense, studies of this type infer the need to promote safe and healthy work environments in SMEs.

Key words: Health, Labor, Safety and Health Management Systems (SG-SST), SMEs.

Introducción

La Seguridad y Salud en el Trabajo se encuentra en gran auge, debido a la importancia que ha cobrado en el desarrollo económico dentro del contexto internacional. Las Naciones Unidas, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Internacional del Trabajo (OIT), afirman que la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), es vital en todos los sectores productivos, puesto que reconocen que cada ciudadano del mundo tiene derecho a un trabajo digno, sano y seguro, en un ambiente laboral que le permita llevar una vida social y económicamente productiva sana [1].

En efecto, los nuevos cambios del mundo globalizado frente al trabajo se desarrollan a partir de los grandes retos relacionados con aspectos sociales, económicos y tecnológicos que desafían la (SST). Lo anterior, plantea la necesidad de evaluar los conceptos de empleabilidad sustentable, debido a la transformación para la noción de trabajo y como se relacionan con el ámbito laboral. Cambiado significativamente anualmente, ameritando mayor coordinación y articulación de acciones que fomenten protección para trabajadores, en el marco de una cultura preventiva que permita alcanzar grandes estándares afines a seguridad y salud en el trabajo.

En este orden, Colombia desde La Constitución Política del año 1991 en su Artículo 25, estableció que: “El trabajo es un derecho y una obligación social y goza, en todas sus modalidades, de la especial protección del Estado. Toda persona tiene derecho a un trabajo en condiciones dignas y justas” [2].

Acorde con lo citado anteriormente, la pandemia ocasionada por la COVID-19, permitió reflexionar a nivel mundial sobre la importancia que tiene la SST en contextos y ambientes laborales; debido a las afectaciones causadas en el mundo del trabajo. Permitiendo ratificar la relevancia que tiene la importancia gobernantes, trabajadores y empleadores, al momento de velar por la seguridad de las personas y la sostenibilidad empresarial, así como la preservación laboral. Por esto, la Organización Internacional del Trabajo para el 2020, señalo este supuesto, como un reto fundamental a enfrentar por profesionales de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), relacionado directamente con situaciones laborales que requieren una orientación específica, liderada por personas idóneas capaces de dar respuesta a necesidades de los Sistemas de Gestión en Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) en las organizaciones [3], especialmente en pymes que en muchas ocasiones no dispone de los recursos necesarios para aplicar los SG-SST.

El Ministerio de Trabajo, como estrategia para fomentar la implementación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) expidió la “Guía Técnica de Implementación para MIPYMES” [4], destacado algunas responsabilidades normativas para empleadores, administradoras de riesgos laborales (ARL) y trabajadores, establecidas en el Decreto 1072 de 2015 (Único reglamentario para el sector trabajo).

Ilustración 1. Responsabilidades empleadoras, ARL y trabajadores.

Empleadores	Arl	Trabajadores
<ul style="list-style-type: none">• Establecer, firmar y divulgar la política de SST.• Rendir cuentas anualmente.• Cumplir la normativa aplicable a la pyme.• Elabora un plan de trabajo en SST.• Participar a los trabajadores.• Estrategias comunicativas y asignación de responsabilidades.• Disposición de recursos.• Gestión de peligros y riesgos.• Promoción y prevención para SST.• Dirección de la SST.• Integración del SG-SST a la pyme.	<ul style="list-style-type: none">• Selección del vigia ó copasst en el marco del SG-SST.• Asesorías y asistencia técnica a pymes afiliadas.• Otras estipuladas en el Sistema General de Riesgos Laborales. (SGRL)	<ul style="list-style-type: none">• Responsabilidad del cuidado integral propio.• Declaración honesta del estado de salud.• Cumplimiento de normas establecidas en el SG-SST.• Reporte veraz de peligros y riesgos.• Compromiso y capacitación en las actividades de SST.• Contribución responsable del SG-SST.

Fuente: Adaptación de la Guía Técnica de Implementación para MIPYMES

Por otra parte, la Dirección de Riesgos Laborales, adscrita al Ministerio del Trabajo se ha esforzado por adaptar las normas del SG-SST, bajo estrategias que posibiliten lograr asegurar una mayor aplicabilidad a razón de perseguir un mejor entorno para los trabajadores, en especial de las pequeñas y medianas empresas PYMES, que en muchas ocasiones no disponen de recursos financieros para iniciar la aplicación del Libro 2, Parte 2, Título 4, Capítulo 6 del Decreto 1072 de 2015.

Por lo anterior, Colombia en el marco del fomento de políticas públicas, acogió lo prescrito por la Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), para aunar esfuerzo institucionales en búsqueda del mejoramiento de las condiciones de bienestar en todo el país. A su vez, tratando desde una perspectiva crítica y constructiva identificar los rezagos planteados como desafíos futuros. En especial a lo respectivo con el ODS #8 “trabajo decente y el crecimiento económico”, donde el Departamento Nacional de Planeación en el 2021, informó los principales avances responden a la meta 8.2 “Diversificar, innovar y mejorar la productividad económica”, la meta 8.5. “Trabajo decente e igualdad de remuneración” y la meta 8.7 “Poner fin a la esclavitud moderna, la trata y el trabajo infantil”. Igualmente, se presenta una tasa de formalidad laboral de 51,99% para el año 2020, lo que represento un flujo para acumular 99,54% en el avance de la meta. Por consiguiente, problemáticas como economía informal, siguen ameritando priorización nacional para tratar de lograr un crecimiento económico justo y seguro, que permita aumentar el bienestar del país [5].

En efecto, estudios como el de López Mera, 2021 [6], analiza *¿Qué tan lejos está el ODS # 8 para Colombia?* después de una década midiendo el trabajo decente, donde como país, se asume el reto a 2030, para aumentar

tasa de formalidad un +26,2 puntos porcentuales, disminuir la tasa de desempleo un -3.7 puntos porcentuales, mantener la disminución del trabajo infantil especialmente en municipios. Así como, lograr disminuir la tasa de ninis un -7.6 puntos porcentuales y aumentar la tasa por afiliación a ARL un +10,5 puntos porcentuales requerido a 2030. La consecución de las metas planteadas favorecerá lograr el trabajo decente y crecimiento económico, En consecuencia, aumentar el bienestar laboral, ameritando gestión adecuada de la seguridad y salud en el trabajo para cualquier organización. Especialmente en pymes, donde con los años se ha evidenciado mayor desprotección laboral, asociada a falta de implementación del SG-SST, ocasionada por desconocimiento normativo o falta de recursos, técnicos, financieros y humano.

Por esto, cobra relevancia identificar falencias en SST, para proceder a ejecutar acciones proactivas que incentiven a brindar protección laboral. Proyectando además la SST, como una herramienta prevencionista que contribuya con formación y capacitación en riesgos al trabajador. Desde premisas tales como “el trabajador visto como uno de los activos más valiosos con los cuales cuentan las organizaciones”, asumiendo entonces, el compromiso gerencial en los SG-SST, a manera resolutive de cuestionamientos entre trabajo, salud y bienestar laboral desde la gestión empresarial.

Metodología

La investigación planteada es por naturaleza descriptiva, debido a que se requiere analizar desde una perspectiva holística la implementación de los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo en pymes y el desconocimiento normativo afecta las condiciones de salud y trabajo de las personas vinculadas laboralmente a cada una de ellas, con aplicación de cuestionarios estratificado. Permitiendo en prospectiva un modelo de Investigación, acción-participación logrando identificar y reconocer el impacto del desarrollo económico sostenible, a través de promoción y cumplimiento de las normas laborales.

Preparación

Para la ejecución de la investigación, se analizó como primera medida el contexto normativo nacional aplicable por obligatoriedad a pymes del país, evidenciando normas como la ley 1562-2012 *“Por la cual la Salud Ocupacional se entenderá en adelante como Seguridad y Salud en el Trabajo”*; Decreto 1072 – 2015 *“Único reglamentario para el sector trabajo”* y la Resolución 0312 de 2018 *“Por la cual se establecen los Estándares Mínimos de Seguridad y Salud en el Trabajo”*. Con estos propósitos establecidos, se procedió a indagar acerca del conocimiento normativo por parte de las pymes objeto de estudio, registradas ante Cámara de Comercio de La Guajira.

Tipo de investigación

Investigación de tipo descriptiva, teñida con orientación epistemológica positivista mediante método cuantitativo; partiendo desde la recolección de datos sobre unidades de análisis objeto de estudio, en determinado momento, para descubrir o evidenciar información sobre las hipótesis establecidas, posteriormente proceder a verificar su incidencia e interrelación en momentos determinados, a criterio de Bonilla, 2018. [7].

Población

Se entiende por población un conjunto finito o infinito, compuesto de elementos o unidades que sirven para análisis observacional en un estudio, constituido por particularidades respecto a características propias de los sujetos analizados. Es decir, la población estuvo conformada por pymes registradas legalmente ante la Cámara de Comercio de La Guajira con fecha de dic. 2020, que quisieran participar en la resolución del cuestionario establecido bajo escala combinada en ítems, obteniendo una participación entonces de 293 empresas, consideradas representativas para el estudio. Para mayor validación el pilotaje se aplicó a 10 pymes en condiciones similares a las estudiadas pero excluidas del estudio, resultados fueron analizados por expertos en el área de la SST.

Conforme a datos suministrados en el Informe Socio Económico de La Guajira, 2020 [8]. Donde para los años comprendidos entre 2017-2020, se registraron la constitución de 8.181 nuevas empresas, renovaron 34.006 registros y cancelaron 1.345 matriculas. Particularmente el informe resalta las dificultades ocasionadas por el COVID-19, debido a la disminución en las cifras de constitución respecto a nuevas empresas.

Resultados y discusión

Primeros resultados

Potenciar el derecho a la salud en el trabajo desde una mirada comprensiva y humana permite la armonización de todos los componentes que enmarcan un entorno laboral desde el respeto, integridad y condiciones favorables para el ejercicio de las funciones del colaborador de manera digna y justa; siendo imperante que a nivel mundial se garanticen condiciones óptimas, en especial en los sectores con mayor dificultad en la implementación de seguridad y salud en el trabajo, como las pymes [9].

Por lo tanto, identificar el nivel de conocimiento frente a la vigencia de la normatividad aplicable a pymes del distrito de Riohacha, desde los aspectos más fundamentales establecidos en la Ley 1562 del 2012, fueron uno de los intereses investigados, evidenciando que el 56,5% de la población encuestada desconoce dicha norma, mientras que el 43,5% refiere conocerla; estos resultados generan gran preocupación teniendo en cuenta que es una normativa de carácter obligatorio para las empresas, considerando que a partir del nivel de comprensión que se tenga de la ley se logra el cumplimiento de los estándares mínimos de calidad en el ámbito laboral.

Ahora bien, algunos participantes manifestaron tener conocimiento sobre la norma y la percepción de la misma, puntualizando que para garantizar el goce de un trabajo digno y de calidad se debe fortalecer en todas las empresas colombianas llámese “privadas y públicas”, la respectiva sensibilización al empleador y colaborador en SST; para a partir de ello, establecer una rigurosidad en la aplicabilidad de la misma, considerando que 52,2 % de los encuestados no ven la contribución que esta ley viene generando en la calidad laboral de los colombianos, a diferencia del 47,8% que tienen la convicción de este aporte.

Segundos resultados

Las evaluaciones económicas de las intervenciones en seguridad y salud en el trabajo se encuentran enmarcadas en SG-SST, donde se debe propender por concientizar a las empresas y organizaciones sobre la importancia de implementación desde la concepción de la conservación de la vida en los lugares de trabajo, más que un cumplimiento legal asociados a sanciones o multas por incumplimiento. Buscando contemplar de manera prioritaria la relación entre salud, productividad, costos de accidente y enfermedades laborales, asociados a la implementación de la norma, que resulten en las mejoras de garantías laborales y la conservación del trabajo digno y justo.

Debido a esto, la percepción respecto al Decreto 1072 de 2015 “Único Reglamentario para el sector trabajo”, en la población encuestada, logró evidenciar que el 54,3% de las personas que participaron en la investigación, consideran que la implementación de esta norma, viene generando cimientos para reducir los riesgos laborales y consideran que las acciones deben ser encaminadas actividades de promoción y mantenimiento de la salud según las acciones interpuestas en la normatividad; sin embargo, aún hay un 45,7% de las personas que no están de acuerdo con esta afirmación, llevando a generar nuevas propuestas y estrategias de difusión que permitan el reconocimiento y aplicabilidad de la norma, para posteriormente conocer realmente los beneficios de la implementación de los SG-SST..

En consideración a ese 45,7 % que tiene una negativa o desconoce los contenidos del decreto 1072 de 2015, es imprescindible fomentar acciones que potencialicen el abordaje y aplicabilidad de la norma. A razón de disminuir dicha percepción y mejorar los ambientes laborales, garantizando la disminución de riesgo asociados al trabajo, desde la anticipación, reconocimiento, evaluación eficiente y eficaz en SST, para la aplicación de la normatividad vigente.

Últimos resultados

La formulación sólida de las políticas públicas de seguridad y salud en el trabajo, que ayuden a la implementación de los sistemas de gestión de SST en Pymes por el Ministerio de trabajo, respecto a la actualización de normas, el cumplimiento entre los actores, el aumento en las campañas y estrategias de educación, sensibilización y las

actividades de capacitación desarrolladas, con el fin de promover la salud y prevenir los ATEL [10], permitirá al interior de las organizaciones una mejor implementación. De aquí, la necesidad en fomentar una auténtica cultura de cuidado en empresas pequeñas y medianas desde la adopción e implementación de estándares mínimos que faciliten el inicio organizado y sistemático de los SG-SST.

A razón de esto, los Estándares Mínimos establecidos en la Resolución 0312 de 2019, establecidos como una herramienta esencial para ayudar a incrementar la implementación de SG-SST en pymes, iniciando por procesos fundamentales de garantías laborales como la afiliación al Sistema de Seguridad Social Integral (Sistema de Seguridad Social en Salud, Pensión y Riesgos Laborales), además de todos los exigidos mínimamente según la actividad económica, número de trabajadores y nivel de riesgos definidos para cada tipo de empresa.

Respecto a esto, la información recolectada permitió evidenciar que un 60,9% de los participantes, no cuenta con la información de esta norma, a diferencia del 39,1% que manifiesta si reconocer algunos datos de la resolución. Un claro ejemplo, es como algunos participantes manifestaron reconocer ciertos apartados inmersos en la resolución, evidenciando que alternamente el 63% de ellos, desconoce los estándares mínimos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, mientras que el 37% de ellos justifican la relevancia que ejerce en las empresas la aplicabilidad de estos estándares, pero manifiestan dificultades en su implementación.

En relación a esto, existe otro porcentaje de análisis fundamental respecto al conocimiento de las sanciones por incumplimiento de esta normatividad, donde el 39,1% de los sujetos analizados manifiestan reconocer las interpuestas en la Resolución 0312 de 2019, y a pesar de esta obligatoriedad un 52,2% desconocen que deben implementar y reportar los avances de esta normativa al ente de control nacional de manera anual. Por otro lado, el 47,8% manifiesta no es oportuno la aplicabilidad de este tipo de normas a pymes.

Trabajo a futuro

Los resultados de la investigación servirá a futuro para contrarrestar lo que plantea el Plan Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo 2013-2021, asumido por el Ministerio del trabajo bajo la resolución 06045 de 2014, especialmente en el artículo 3 donde refiere como debe desarrollarse la implementación y ejecución del plan nacional de seguridad y salud en el trabajo, definiendo que *“éste será implementado y ejecutado por el Ministerio del trabajo, el Ministerio de salud y protección social, las administradoras de Riesgos laborales, los Empleadores, las Agremiaciones, las Organizaciones Sindicales, la Academia, las Sociedades Científicas, los Centros de Investigación, las Empresas promotoras de salud, las Instituciones prestadoras de servicios de salud, el Comité nacional, los Comités seccionales, y Locales de Seguridad y salud en el trabajo, las Comisiones nacionales por sectores económicos; estas deberán coordinar su implementación con las demás instituciones y organismos responsables”*. [11].

A razón de fundamentar y generar recomendaciones en la elaboración de la política pública del próximo decenio y en pro de facilitar a las pymes un aplicabilidad más dinámica y coherente a la vigencia de la normatividad exigida, es necesario implementar una serie de estrategias que orienten acerca de la base de lineamientos estratégicos, que sean tenidos en cuenta por las instancias correspondientes para lograr establecer posibles vínculos destinados al fortalecimiento de la seguridad y salud en el trabajo en las empresas participantes en esta investigación.

Conclusiones

Los resultados obtenidos permitieron evidenciar la situación actual de las Pymes en el distrito de Riohacha, Departamento de La Guajira, frente a la implementación de los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo donde se debe considerar la generación, conceptualización y apropiación de la temática dispuesta en las diferentes normativas del SG-SST aplicable a las pymes.

En relación resultados, existen una serie de temas que son necesarios trabajar en Pymes de Riohacha - Departamento de La Guajira, para permitir obtener un correcto desarrollo en la implementación del SG-SST en las diferentes empresas y para el logro de ello se requiere una sensibilización a los trabajadores y empleadores,

acerca de la relevancia de contar con un amplio conocimiento de la vigencia de la actual normatividad, así como del continuo seguimiento que se debe realizar al sistema de gestión para fortalecer ambientes laborales seguros y saludables. Además, evitando incurrir en incumplimientos y sanciones.

En cuanto a los porcentajes obtenidos en los resultados, es imprescindible resaltar que cobran sentido a la hora de plantar nuevas bases en el desarrollo de las siguientes conclusiones y recomendaciones, generando posibles soluciones a los procesos que se vienen proyectando actualmente para cumplimiento de lo dispuesto por el gobierno nacional en relación a la implementación del SG-SST.

Concluyendo, que el reconocimiento del nivel de comprensión de las normativas actuales del SG-SST en las pymes del distrito de Riohacha, departamento de La Guajira; por medio del análisis verificado en los diferentes resultados alcanzados a través de las encuestas realizadas a la población objeto de estudio, deja en evidencia que en muchas ocasiones la aplicabilidad de la norma en SST, no se ejecuta en gran medida por desconocimiento normativo o por falta de relevancia e importancia dada en ciertas ocasiones por los gerentes o dueños de las mismas pymes, ocasionando, incumplimiento de leyes, decretos y resoluciones aplicables a empresas y PYMES.

Además, los resultados dejan en evidencia la falta de garantías laborales, donde la desprotección al trabajador se gesta desde la no afiliación al Sistema de Seguridad Social Integral, en muchas ocasiones asociados a no formalización laboral y contratos de trabajo irregulares, que conllevan a vulneración de derechos fundamentales como el goce de afiliación a seguridad social, para atención en casos de enfermedades y accidentes laborales y comunes, así como no afiliación a Administradoras de Riesgos Laborales, desprotegiendo al trabajador en caso de accidente y enfermedad ocasionada con causa u ocasión del trabajo, igualmente como la desprotección en la no afiliación a un régimen pensional, que permita garantizar el goce de una pensión por vejez, invalidez en los casos de accidente o enfermedad, así como de supervivencia en los casos lamentables de fatalidades a consecuencia de la labor.

En consideración a lo expuesto, estas acciones se gestan en pymes a consecuencia de múltiples factores, uno de los más destacados el desconocimiento normativo y legal, otro aspecto es la falta de fluidez económica que impide la contratación formal y la implementación de los SG-SST, y la oposición por parte de los mismos trabajadores a la afiliación formal, para la no pérdida de subsidios y beneficios por parte del estado.

Siendo entonces un reto, el fortalecer la implementación del SG-SST en empresas como las pymes, donde los desafíos económicos, técnicos, financieros y humanos; son una realidad en la cual el estado debe implementar mayor vigilancia, control y beneficios que potencialicen las garantías laborales. Favoreciendo en demostrar que la SST, más que una obligación normativa o una sanción legal, es un beneficio que ayuda a preservar la vida de las personas en la ejecución del trabajo y el aumento en la productividad empresarial, reflejado en mayores beneficios económicos y sociales asociados a la implementación de la SST. Porque, el trabajo mil y una veces será para garantizar una mejor vida, mas no para convertirse en un detonante de pérdida.

Agradecimientos

Siempre a DIOS y de manera especial extendemos nuestros más sinceros agradecimientos a cada una de las empresas que abrieron sus puertas y responsablemente respondieron a la investigación promovida, para tratar que mostrar la realidad actual de cada una de ella en cuento a la implementación de los SG.SST.

Referencias

- [1] Organización Internacional del Trabajo, «Fomentar el diálogo social para una cultura de seguridad y salud,» Ginebra., 2020.
- [2] *Constitución Política de Colombia*, 1991.
- [3] Organización Internacional del Trabajo, «Frente a la pandemia: garantizar la seguridad y salud en el trabajo,» Ginebra, 2020.

- [4] Ministerio de Trabajo, «Guía Técnica de Implementación del SG-SST para MIPYMES,» Institucional Ministerio de Trabajo, 2017.
- [5] M. A. Pérez Vásquez, «Retos de la Política Ambiental Colombiana frente a los desafíos de la OCDE y los ODS. Análisis Político,» pp. 101- 120., 2020.
- [6] S. F. López Mera, «¿Qué tan lejos está el ODS # 8 para Colombia? Una década de medición del trabajo decente,» *Sociedad y Economía*, vol. Issue 43, pp. p1-24. 24p., 2021.
- [7] B. E. Bonilla, Metodología de la investigación, 2018.
- [8] Cámara de Comercio de La Guajira, «Informe Socio Económico de La Guajira 2020,» Riohacha, 2021.
- [9] Y. A. Marín Ospina, Y. Higueta Higueta, D. P. Guerra Mazo, D. A. Gómez Ceballos y M. L. Soto Velásquez, «Derecho a la salud en el trabajo-vulneración y fragmentación en su comprensión y materialización,» *Hacia. Promoc. Salud. 2020*, pp. 25 (1): 44-59, 2020.
- [10] C. B. Luzetty y J. E. Fernández Rubio, «Políticas públicas y promoción de la salud en el trabajo: Colombia 1993 - 2018,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2019/politicas-publicas-promocion-salud-en-trabajo-colombia-1993-2018>. [Último acceso: 2021 06 28].
- [11] Plan Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo 2013-2021, «Ministerio de Trabajo,» [En línea]. Available: <http://www.mintrabajo.gov.co/relaciones-laborales/riesgos-laborales/plan-nacional-de-seguridad-y-salud-en-el-trabajo-2013-2021> . [Último acceso: 2021 06 30].

INGENIERÍA INDUSTRIAL

- II01 **Implementación de sensor de detección en proceso de adhesivado en una empresa automotriz**
Miriam Ramírez Rosas, José Luis Cruz Montufar, Laura Marmolejo García, Luis Tomás Avalos López y Yadira Pineda Pérez II-4
- II02 **Beneficios de implantar la norma PRIMUS GFS en una empacadora Hidalguense de tomate Saladette**
Katia Lorena Avilés Coyoli, Yaneth Hernández Ortega, José Luis Vigueras Cortés, Luis Ignacio Martínez Solís y Gabriel Hernández Ávalos II-13
- II03 **Inspección autónoma de limón mandarina mediante procesamiento digital de imágenes y deep learning**
Evelyn Lupita Fernández Mateos, Giselle Rivera Jácome, Alberto Alfonso Aguilar Lasserre y Jesús Sánchez Juárez II-23
- II04 **Diseño de una metodología para la distribución de áreas en un zoológico**
Jaime Garnica González, Sergio Blas Ramírez Reyna, Héctor Rivera Gómez, Ramiro Cadena Uribe y Jazmín Georgina Licon Olmos II-33
- II05 **Análisis del nivel de reacción de empresas de la Comarca Lagunera ante una crisis sanitaria**
Elva Rosaura Pineda Armendáriz, Francisco Agustín Poblano Ojinaga, Eduardo Rafael Poblano Ojinaga, Ana Ernestina Poblano Ojinaga y Fernando Guadalupe Alday Luna II-43
- II06 **Programación del método de Vogel en estudio de movilidad en la sierra nororiental de Puebla**
Mario Espinosa Tlaxcaltecatl, Neftaly Hernández Méndez, Oscar Javier Zapata Nava, Marisol Tlapapal Betancourt y Marco Antonio Alonso Pérez II-52
- II07 **Plan de mantenimiento aplicando AMEF para el sistema de bandas transportadoras en una empresa metalúrgica.**
Kristhian Said Flores Hernández, Sergio Vázquez Rosas, Uriel Alejandro Hernández Sánchez y Emma Isabel Caballero López II-62
- II08 **Disminución de los tiempos de preparación en una empresa textil mediante la metodología SMED**
Antonio Calderón Jiménez, Luis Alberto Hernández Sánchez, Sinuhe Ginés Palestino, Jorge Luis Hernandez Mortera y María Eloísa Gurruchaga Rodríguez II-69
- II09 **Disminución de tiempo improductivo por fallas mecánicas aplicando el control estadístico de proceso**
Carlos Alberto Gutiérrez Manuel, Josefina Campos García, Héctor José García Ávila, Mayté Loera Sánchez y Lucila Márquez Pallares II-78
- II10 **Análisis de costos y producción de jabones a partir del aceite residual en el Instituto Tecnológico de Ensenada**
Lucila Márquez Pallares, Juan Aguila Muñoz, Carlos Alberto Gutierrez Manuel, Josefina Campos García y Juan Pablo Vite Frías II-86
- II11 **Aplicación de la metodología DMAIC para mejorar un almacén de empresa metalmecánica**
Angel Eduardo Silvestre Arvizu, Fernando Ortiz Flores, Jorge Luis Hernández Mortera, Mario Leoncio Arrijoa Rodríguez y Fernando Ortiz López II-93
- II12 **Prototipo de red neuronal artificial para el pronóstico de eventos por partículas PM2.5 en la zona centro de la ciudad de Orizaba**
Edgar Rodríguez Aguirre II-103

II13	Optimización en hoja de cálculo de una ruta de reparto de garrafones de agua <i>Carlos Manuel Pérez Ramírez</i>	II-112
II14	Factores de riesgo ergonómico respecto a la manipulación de cargas en empresa de giro aguacatero <i>Gilberto Chávez Esquivel, Brenda Suárez Espinosa y Aarón Guerrero Campanur</i>	II-122
II15	Aplicación de SMED para reducir tiempos de preparación de máquinas CNC en empresa metalmeccánica <i>Carlos Alberto Salvador King Martínez, Fernando Ortiz Flores, Fernando Ortiz López, María Eloísa Gurruchaga Rodríguez y Jorge Luís Hernández Mortera</i>	II-130
II16	Mejora continua para optimizar proceso computarizado de corte en área A220 en una empresa aeroespacial <i>Filemon Carreño Reyna, Lorena Santos Espinosa, Esmeralda Santos Carrillo, Miriram Silvia Lopez Vigil y Juan Carlos Vasquez Jiménez</i>	II-140
II17	Simulación en SIMIO para analizar un sistema de producción de vidrio automotriz <i>Luis Angel Bello Castellanos, Constantino Gerardo Moras Sánchez, Marco Antonio Rojas Luna, Alberto Alfonso Aguilar Lasserre y María José Cruz García</i>	II-150
II18	Reducción del tiempo de manufactura mediante la metodología DMAIC en una empresa textil <i>Luis Alberto Hernández Sánchez, Antonio Calderón Jiménez, Sinuhe Ginés Palestino, Norma Angélica Fuentes Sandoval y Osbaldo Ávila Peralta</i>	II-159
II19	Plan de producción para la flor de azucena en el municipio de Teziutlán Puebla. <i>Víctor Millán Tinoco, Magdaleno Martínez Demetrio y Gabriela Aldazaba Jácome</i>	II-169
II20	Optimización por Atributos Clasificados del Proceso de Laminado por Termofusión <i>Nayeli Montalvo Romero, Aarón Montiel Rosales, Luis Enrique García Santamaría y Eduardo Fernández Echeverría</i>	II-178
II21	Propuesta de plan de mantenimiento utilizando TPM y RCM en una empresa textil. <i>Brenda Lorena Flores Hidalgo, Juan José Hurtado Moreno y José Manuel García Córdova</i>	II-185
II22	Eliminación de fugas en el Transfer Case en línea de Ensamble Automotriz, Complejo Ramos Arizpe. <i>Francisco Agustín Poblano Ojinaga, Brenda Pedroza Figueroa, Ana Ernestina Poblano Ojinaga, Elva Rosaura Pineda Armendariz y Gilmar Daniel Estrada Ríos</i>	II-195
II23	Mejora del Proceso de Producción en una Empresa Metal Mecánica utilizando Simulación <i>Juan Baltazar Chavez Orozco, Sergio Blas Ramirez Reyna, Oscar Montaña Arango, Joselito Medina Marín y Jose Ramon Corona Armenta</i>	II-203
II24	Análisis económico del anteproyecto: creación de un área verde para la captura de carbono <i>Nayeli Melena Torres, Jaime Garnica González, María Rosa Maimone Celorio y Jorge Carro Suárez</i>	II-210
II25	Metodología DMAIC para el aumento de disponibilidad de una línea de producción de refacciones automotrices <i>Valentin Jiménez Jarquin, Juan Carlos Navarrete Narvaez, Benito Samuel López Razo, Humberto Dorantes Benavidez y Omar García Jiménez</i>	II-220
II26	Prueba T pareada para validación de equipos de humedad para café verde y tostado <i>José Vicente Martínez, Nayeli Gutiérrez Casiano, Tania García Herrera, Lizbeth Prieto Reyes y Rosa Isela Castro Salas</i>	II-229

- II27 **Mejora del rendimiento de un proceso mediante Kaizen, en una empresa de acuicultura en México** II-237
Leslie Gabriela González Sosa, Bruno Adolfo Villalobos Martínez, Lidya Margarita Blanco González, Julia Krystel López Orduña and Jorge Arturo Sarmiento Torres
- II28 **Resultados de Grupo Focal para rediseño de prototipo de enseñanza braille** II-247
Matilde Sampayo, Miguel A. Limón, Gregorio Castillo, Arisbeth Cruz y José M. Martínez
- II29 **Sistema de control de existencias: diseño e implementación para reducir pérdidas en comercializadora de EPP** II-256
Lilia Araceli Bahena Medina, Nohema Pérez España, Silvia Melbi Gaona Jiménez, Miguel Ángel Gómez Vicario y Diana Karen López Meneses

Implementación de sensor de detección en proceso de adhesivado en una empresa automotriz

M. L. Ramírez Rosas¹, J. L. Cruz Montufar², L. Marmolejo García³, L. T. Avalos López⁴, Y. Pineda Pérez⁵
Coordinación del Sistema de Gestión de Calidad y Ambiental, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca. mramirezr@toluca.tecnm.mx (autor correspondiente) Ingeniero de Calidad-Clientes, Gergonne. jl.cruz@gergonne.mx, Coordinación de Apoyo a la Titulación, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca. lmarmole13@hotmail.com, Jefatura de Centro de Información Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca. lavalosl@toluca.tecnm.mx, Docente de la Carrera de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Toluca. ypinedap@toluca.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

Implementar un sensor de detección en los procesos de adhesivado para detectar la falta de adhesivo en los rollos que se tienen como materia prima antes que se troquelen o manufacturen partes automotrices, permite disminuir el número de piezas defectuosas por esta causa y por ende mejora en las partes por millón (ppm's) internos y externos, además se reducen: retrabajos, scrap, fletes extraordinarios, contrato de sorteadoras y quejas del cliente; logrando con ello minimizar los costos de calidad relacionados. La aplicación de herramientas de calidad, mejora continua y core tools facilitan el desarrollo del proyecto y logro del objetivo establecido, obteniendo un ahorro de \$104,548.05 lo que equivale a una reducción de costos del 77% con respecto al año anterior.

Palabras clave: adhesivo, costos, sensor, Core Tools.

Abstract

Implementing a detection sensor in the adhesive processes to detect the lack of adhesive in the rolls that are used as raw material before die-cutting or manufacturing automotive parts, reduces the number of defective parts due to this cause and therefore improves the internal and external parts per million (ppm's), also reduces: rework, scrap, extraordinary freight, sorting contracts and customer complaints, thus minimizing the related quality costs. The application of quality tools, continuous improvement and core tools facilitated the development of the project and the achievement of the established objective, resulting in savings of \$104,548.05, which is equivalent to a 77% reduction in costs with respect to the previous year.

Key words: adhesive, costs, sensor, Core Tools.

Introducción

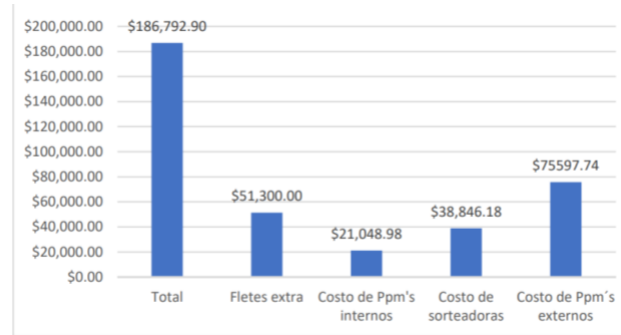
En México, el creciente desarrollo de la industria de autopartes automotrices ha sido tema de diversas investigaciones. A nivel mundial, esta industria emplea alrededor del 46% de los trabajadores. Desde el año 2020 se ha tenido una serie de problemáticas importantes que han afectado la economía, uno de los sectores más afectados es el de la industria automotriz, con el cierre de fronteras y la baja de reservas, se sumaron problemas en la manufactura de autos a nivel mundial. Esto implica que cada vez el mercado es más competitivo y que los proveedores de partes deben ser cautelosos y generar las estrategias necesarias para entregar partes con los más altos estándares de calidad y sin defectos. Una de las respuestas a esta situación, consiste en la aplicación de los elementos de manufactura esbelta, cuyos principios se basan en la eliminación de desperdicios.

Esta investigación se basa en la implementación de un sensor (Poka-Yoke), que representa una práctica de Manufactura Esbelta diseñada especialmente para eliminar la producción de partes defectuosas [1]. Cuando se habla de Manufactura Esbelta para esta investigación, es importante mencionar dos conceptos: el primero, automatización; que es la sustitución del trabajo manual por el trabajo de una máquina y el segundo; máquina autónoma, máquina que es capaz de detectar situaciones anormales, parar automáticamente y avisar [2]. Un Poka-Yoke es una herramienta procedente de Japón que significa a prueba de errores. Lo que se busca con esta forma de diseñar los procesos es eliminar o evitar equivocaciones ya sean de ámbito humano o automatizado. Este sistema se puede implantar también para facilitar la detección de errores [3]. Shigeo Shingo, un ingeniero japonés, desarrollo la idea de esta herramienta formidable para alcanzar el cero defectos, la idea esencial de esta herramienta es respetar la inteligencia de los trabajadores, asumiendo las tareas repetitivas y que dependen de la memoria, así que esta herramienta puede liberar el tiempo y mente de un trabajador para que así se dedique a ideas que requieren de mayor creatividad y que proporcionan valor agregado [4]. Un sistema Poka-Yoke nos brinda dos funciones importantes, una es la de hacer la inspección del 100% de las partes producidas y la segunda es que si ocurre alguna anomalía puede dar retroalimentación y acción correctiva [5]. Como se menciona anteriormente, el sensor es un poka-yoke capaz de identificar una variación en su ambiente traduciéndola en una salida de respuesta a una medición específica. Dicha salida puede ser una señal óptica, eléctrica, química o mecánica. Debido a que existe una gran diversidad de variables que pueden ser medidas, los sensores tienen una vasta cantidad de aplicaciones en diferentes campos. Los sensores representan componentes clave en los sistemas de medición y control. La demanda de sensores para el monitoreo de diversos entornos industriales, medioambientales y de la salud ha mostrado un notable incremento [6]. Se puede aportar beneficios a una organización de cualquier giro mediante el aseguramiento de la calidad, razonablemente bien implantado y conceptualizado en su filosofía, ya que a través de este se podrá tener un mayor grado de confiabilidad sobre los suministros [7]. La implantación de la calidad va acompañada de costos que deben afrontarse, y existirán otros que deben evitarse. Es por esto que se deben diferenciar los costos que se generan por la calidad y los que se generan por la no calidad, los primeros se deben considerar por los costos producidos para obtener la calidad, mientras que los segundos son aquellos derivados por la ausencia de la calidad, de la no conformidad o no cumplimiento de las especificaciones del cliente [8]. Al ir desarrollándose e innovando la industria automotriz, el uso de adhesivos ha crecido de una manera importante. Como las uniones adhesivas han demostrado ser una manera efectiva de juntar partes, éstos presentan un gran impacto en la industria automotriz. Los adhesivos han alcanzado un grado particularmente importante de desarrollo y su uso actualmente presenta una amplia gama de clasificaciones en su base adhesiva [9].

Gergonne México cuenta con 6 procesos para la transformación de espumas: laminado, adhesivado, corte de adhesivos, medio corte, corte completo y medio corte rotativo [10]. En el proceso de adhesivado, el cual es uno de los primeros procesos donde se utilizan rollos de 1.5 metros de alto con diferentes longitudes para la manufactura de piezas troqueladas, se pretende implementar un sensor que ayude a detectar material no conforme por falta de adhesivo. Se presentan quejas de clientes que han reportado la falta de adhesivo en rollos completos como en piezas troqueladas (componentes), por lo que el área de calidad y producción están enfocados en minimizar el problema implementando el Poka Yoke (sensor) para asegurar la presencia de adhesivo. El problema de la falta de adhesivo se origina durante el traslado marítimo de los rollos de materia prima desde la planta origen en Francia, a la planta destino Toluca, Estado de México, por las condiciones ambientales (humedad, salinidad, temperatura). En la planta de Toluca esta condición se observa en los diferentes procesos (adhesivado, corte en bandas, rebobinado de adhesivo y troquelado en máquina rotativa) donde se utiliza el adhesivo. El proyecto se desarrolla de Julio 2020 a Octubre 2021; en la Tabla 1. y Gráfica 1. se muestran los costos por producto no conforme antes de la implementación del sensor.

Tabla 1. Costos por producto no conforme

Concepto por falta de adhesivo	Costos en dólares
Ppm's internos	\$21,048.98
Sorteadoras activadas (mensual)	\$38,846.18
Fletes extraordinarios	\$51,300.00
PPMs externos	\$75,597.74
Total	\$186,792.90



Gráfica 1. Costos por producto no conforme

Metodología

Objetivo General



Implementar un sensor de detección en los procesos de adhesivado para detectar la falta de adhesivo antes que se troquelen o manufacturen partes automotrices, para disminuir quejas del cliente y minimizar los costos de calidad relacionados en una empresa automotriz.

Selección del Sensor

La principal causa de que en Gergonne México reciba notificaciones por parte de los clientes es por falta de adhesivo en las piezas troqueladas (pieza final), debido a que los clientes lo ocupan para diferentes aplicaciones como lo es en cubre arneses, distanciadores, sellos de faros, anti-ruídos, entre otros, por lo que su velocidad de ensamble es alta y no tienen una manera de como verificar la presencia del adhesivo.

Las piezas troqueladas se entregan en tres presentaciones: en rollo (medio corte), en planillas y corte completo, teniendo un papel siliconado en la parte del adhesivo, y hasta que éste es retirado, se puede visualizar el adhesivo, pero en su proceso de ensamble lo pegan directamente en su sustrato, confiando en el producto que se entrega. El cliente se da cuenta de esta condición cuando llevan varias piezas ya pegadas en su línea y se empieza a ver un desprendimiento de la pieza, provocando una alerta en su producción y no puede ser enviado al siguiente proceso y/o cliente final (TIER 1 o armadora). Se investigan opciones y realizan varias pruebas con un proveedor de sensores para evaluar de acuerdo con el proceso. El proveedor es Nordson, al cual se le envían muestras para probar diferentes sensores y poder seleccionar el más adecuado para probarse en las instalaciones de Gergonne, los sensores que se prueban se muestran en la Tabla 2. Especificaciones de sensores evaluados.

Tabla 2. Especificaciones de sensores evaluados

Tipo de Sensor	Imagen	Especificaciones
GD200 (S&F Versions)		Distancia de detección: 25-28 mm Área de detección: 6 mm Dimensión del sensor: 120 x 35 x 100 mm Conexión: 8 pin
GD500 Smart Sensor		Distancia de detección: 28 mm Área de detección: 8 mm Dimensión del sensor: 120 x 44 x 20 mm Conexión: 16 pin

Debido a que los sensores evaluados no cumplen con las especificaciones que se necesitan para la detección del adhesivo, con la ayuda del departamento de mantenimiento se desarrolla un dispositivo propio para satisfacer las necesidades del proceso con el cual se llevan a cabo diversas pruebas.

El sensor desarrollado es el **SEN-ADH-001** el cual se coloca en la parte trasera de la máquina adhesivadora, como se observa en la Figura 1. Sensor instalado en la máquina adhesivadora principalmente donde se ve expuesto el adhesivo, con la finalidad de que pueda cubrir el ancho del rollo y detecte la falta de masa adhesiva, utilizando un patrón de cambio de colores. Este dispositivo realiza una inspección en tiempo real antes de que se adhiera el adhesivo en los diferentes materiales que los clientes utilizan en sus procesos.

Evaluación del sensor SEN-ADH-001

Se hacen pruebas en las que se utilizan adhesivos con soporte non woven y pet. Estos adhesivos son de los más usados en producción en diferentes materiales de acuerdo con el cliente y aplicación. Lo primero es colocar el adhesivo a utilizar y correr el material a su máxima velocidad (25 metros por minuto aprox.) para evaluar la presencia o falta de adhesivo, dando como resultado la efectividad del sensor para la detección.



Figura 1. Sensor instalado en la máquina

Este sensor funciona con luz infrarroja y abarca los 1.5 metros de ancho que tiene el rollo. Cuando se detecta falta de adhesivo, antes de que sea unido al material (espuma, fieltro, guata, etc.) el **SEN-ADH-001** lo identifica y a través del sistema ANDON (ver Figura 2) detiene el proceso de adhesivado y el operador marca la sección donde se encuentra la falta de este, para que pueda ser identificado en el proceso de troquelado, como se muestra en la Figura 3. Detección de adhesivo



Figura 2. ANDON



Figura 3. Detección de adhesivo

Implementación y puesta a punto del sensor SEN-ADH-001

Se actualiza el método de operación del proceso de adhesivado conforme a los requisitos de la IATF 16949 y los Core Tools, donde se especifica la función que realiza el sensor **SEN-ADH-001**. La documentación que se modifica es: AMEF, Plan de Control, Hojas de operación, Diagramas de flujo, ayudas visuales, entre otros y se encuentra disponible en la carpeta de trabajo de la máquina de adhesivado, con el propósito de que el operador pueda visualizar como está el sensor y cuáles son los puntos que debe cuidar antes de realizar su actividad. Por último, se programa la capacitación para el personal involucrado. Ver Figura 4. Método de Operación.


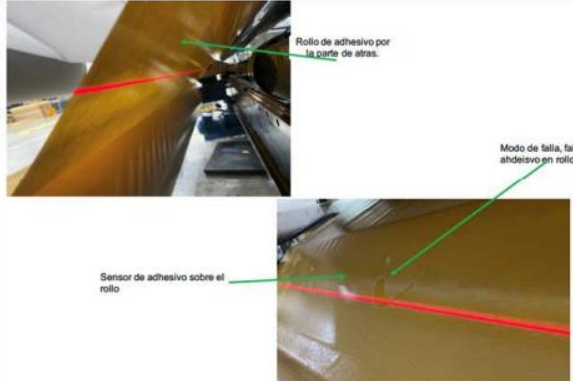
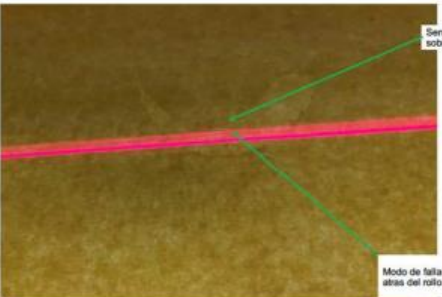


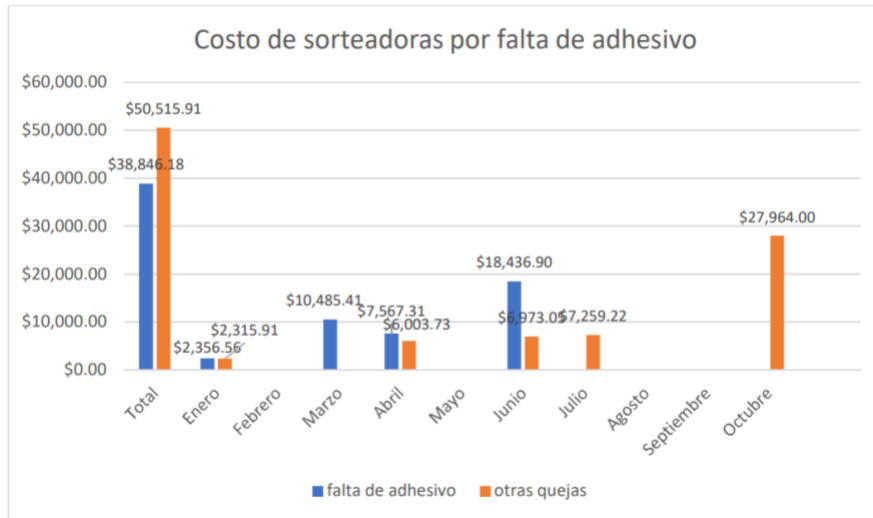
MÉTODO DE OPERACIÓN ADHESIVADO															
FORM-P002-46															
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN:	REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO	RESPONSABLE	CÓDIGO	MO-PREZ-01ADH	PÁGINA	19	DE	23					
ADHESIVADO	A	2012_01_12	EMISIÓN DEL DOCUMENTO	RACA, SARA	ING. DE INDUSTRIALIZACIÓN	GERENTE DE OPERACIONES	GERENTE CALIDAD	ELABORO	REVISO	APRIBO					
	B	2013_07_14	REVISIÓN DEL MÉTODO DE OPERACIÓN	ULRE											
	C	2017_07_29	CAMBIO DE FORMATO DE DOCUMENTO	ING. INDUSTRIALIZACIÓN											
	D	2018_07_31	REESTRUCTURACIÓN DE PROCESO	ING. INDUSTRIALIZACIÓN											
	E	2019_08_23	INTEGRACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ESPECIALES	ING. INDUSTRIALIZACIÓN											
	F	2020_08_26	REVISIÓN E INTEGRACIÓN DE MEJORAMIENTOS AL MÉTODO DE OPERACIÓN	ING. INDUSTRIALIZACIÓN											
	G	2021_08_26	INTEGRACIÓN DE FRENO POLVO AL MÉTODO DE OPERACIÓN	ING. INDUSTRIALIZACIÓN											
	H	2021_11_26	INTEGRACIÓN DE SENSOR DE ADHESIVO	ING. INDUSTRIALIZACIÓN											
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN															
 <p>Sensor de adhesivo sobre rolo.</p> <p>Ajustar sensor de adhesivo cuando la máquina sea puesta a punto, esto para ayudar a la detección de falta de adhesivo durante el proceso, debe ser ajustado a lo ancho del rolo.</p> <p>Girar la perilla para enfocar el sensor y hacerlo delgado para una mejor detección.</p> <p>Se debe encender el sensor de adhesivo cuando la máquina sea puesta a punto, esto para ayudar a la detección de falta de adhesivo durante el proceso, debe ser ajustado a lo ancho del rolo.</p>					 <p>Rolo de adhesivo por la parte de atrás.</p> <p>Modo de falla, falta de adhesivo en rolo</p> <p>Sensor de adhesivo sobre el rolo</p> <p>Cuando se tiene instalado el sensor de adhesivo en la máquina, se puede iniciar el proceso de adhesivado, para que detecte a lo ancho del rolo la falta de adhesivo y si encuentra el modo de falla, se detendrá.</p>										
 <p>Sensor de adhesivo sobre rolo.</p> <p>Modo de falla por la parte de atrás del rolo</p> <p>El sensor detectará la falta de adhesivo cuando no se presente adhesivo, el infrarrojo tendrá una diferencia de tonalidad y espesor en el rolo, por lo que alertará al operador la falta de adhesivo</p>					 <p>Alerta roja por paro de emergencia o falta de adhesivo que detectó el sensor</p> <p>El sensor detectará falta de adhesivo y se alertará la máquina, emitiendo sonido y la luz roja, esto para alertar al operador en curso de que existe un modo de falla y debe revisar la condición del adhesivo, si existe falta de adhesivo, marcar la zona con cinta amarilla.</p>										
EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)		MÁQUINARIA EQUIPO A UTILIZAR		CONTROLES DE OPERACIÓN		CÓDIGO DE COLORES LAY-OUT									
	OPERACIÓN ESPECIAL:	MÁQUINA LORENS-PLANAS		ESPECIFICACIONES DE MATERIAL EN OF		<table border="1"> <tr> <td>DELIMITACIÓN DE ZONA</td> <td>MATERIALES DE RETORNO</td> </tr> <tr> <td>MATERIALES EN PROCESO</td> <td>MATERIAL NO CONFORME</td> </tr> <tr> <td>PRODUCTO TERMINADO</td> <td>BASURA</td> </tr> </table>				DELIMITACIÓN DE ZONA	MATERIALES DE RETORNO	MATERIALES EN PROCESO	MATERIAL NO CONFORME	PRODUCTO TERMINADO	BASURA
DELIMITACIÓN DE ZONA	MATERIALES DE RETORNO														
MATERIALES EN PROCESO	MATERIAL NO CONFORME														
PRODUCTO TERMINADO	BASURA														
				VER HOJA DE INSTRUCCIÓN INSPECCIÓN											

Figura 4. Método de Operación

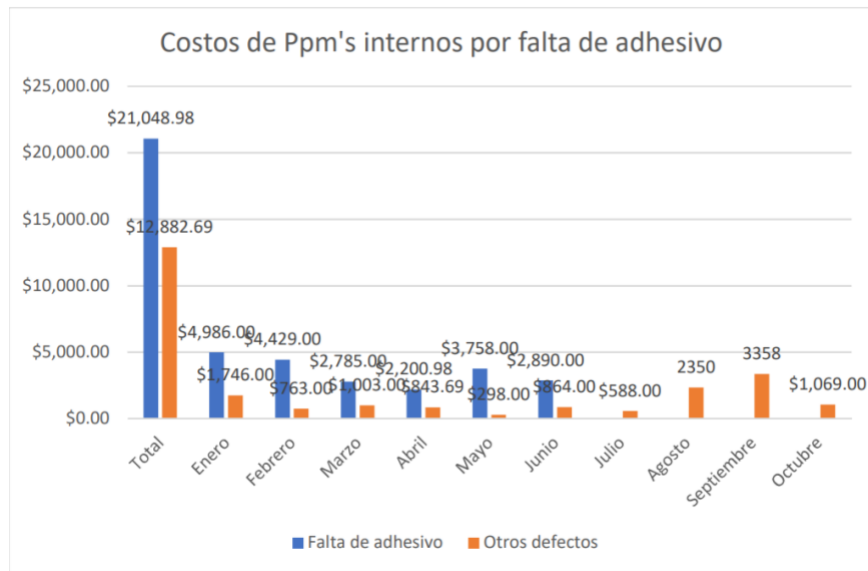
Resultados

En agosto del 2021, el sensor **SEN-ADH-001** fue instalado de manera oficial y se evalúa su efectividad midiendo los indicadores (ppm's internos y externos, fletes extras y sorteadoras) en producción normal durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre. Dicha medición, proporciona datos que muestran que la implementación supera los beneficios esperados.

Los costos que se generan en estos meses se refieren a otros problemas de calidad como: inspección de piezas por dimensiones fuera de especificación. Como lo muestra la Gráfica 2. Costos de Sorteadoras y Gráfica 3. Costos de ppm's internos y, se observa que a partir de agosto del 2021 ya no se generan costos por falta de adhesivo.

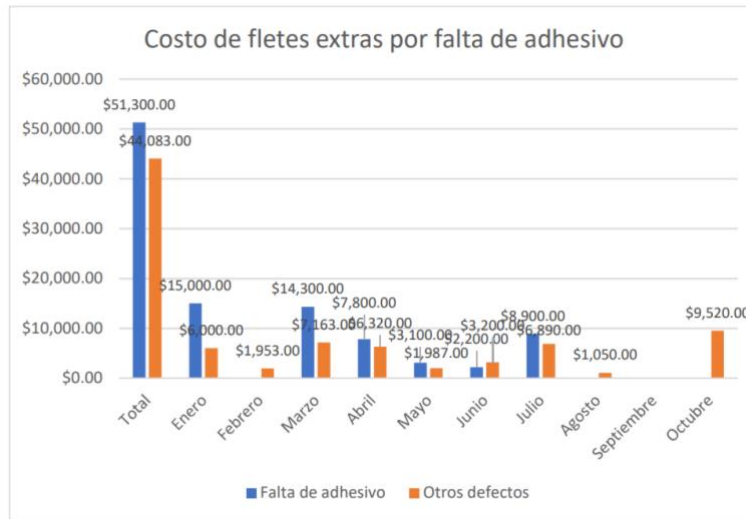


Gráfica 2. Costo de Sorteadora



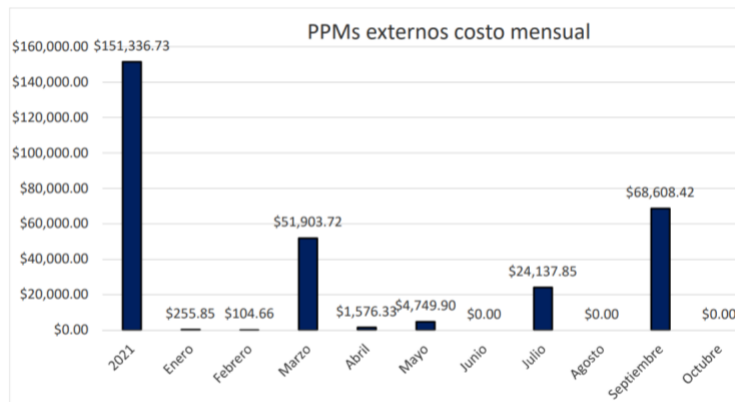
Gráfica 3. Costo de ppm's internos

La Gráfica 4. Costos de fletes extras, muestra el requerimiento de este servicio en los meses de agosto, septiembre y octubre, pero no por partes sin adhesivo, sino por materia prima adicional o incremento de volumen por parte del cliente, problemas de calidad por faltante de piezas, piezas fuera de especificación, entre otros.



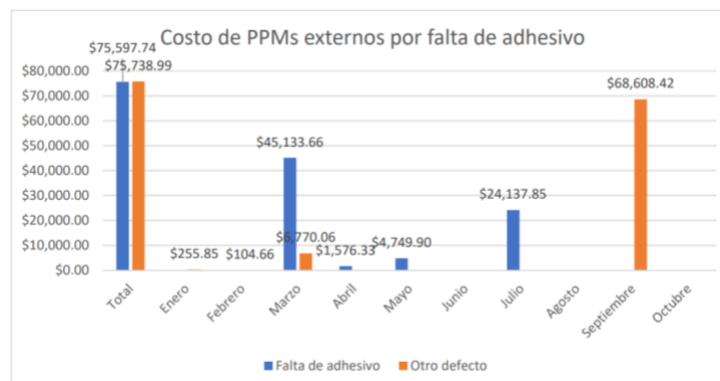
Gráfica 4. Costo de fletes extras por falta de adhesivo

La Gráfica 5. Costo ppm's externos, muestra como este indicador no arroja datos en los meses de agosto y octubre, y los que se reflejan corresponden a piezas fuera de especificación y no a piezas con falta de adhesivo.



Gráfica 5. Costo de ppm's externos

Mientras que la Gráfica 6. Costos de ppm's externos por falta de adhesivo, muestra una tendencia a la baja por costo de material destruido por el cliente en sus instalaciones, ya que no se presentaron quejas de calidad por falta de adhesivo.

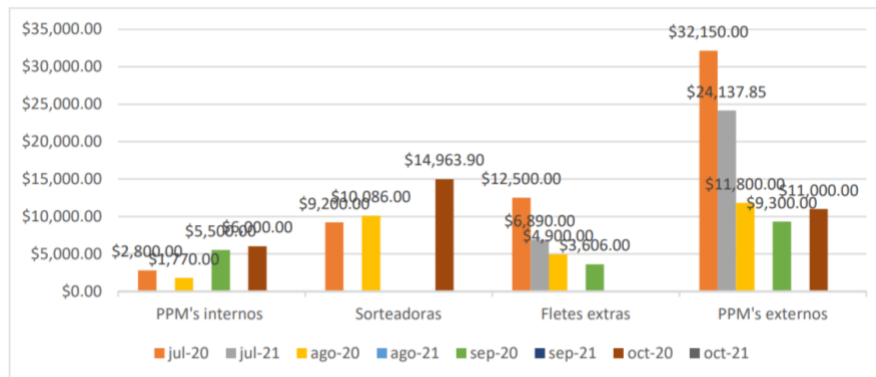


Gráfica 6. Costo de ppm's externos por falta de adhesivo

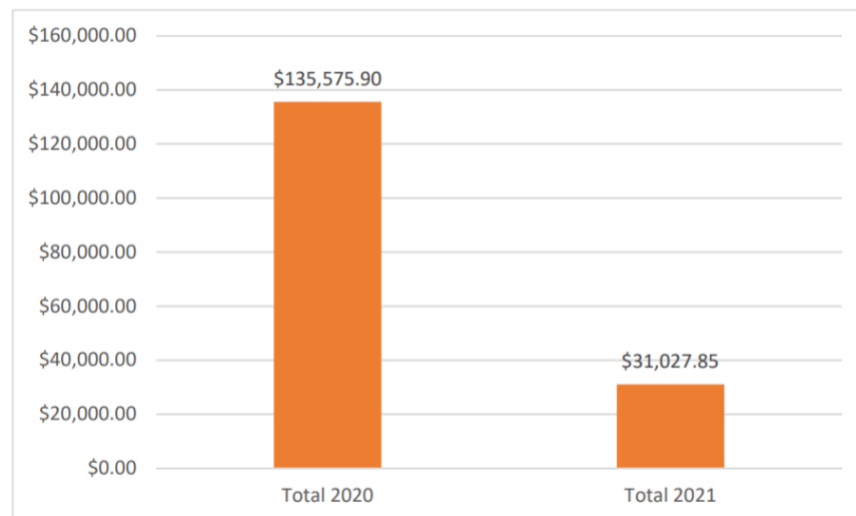
En la Tabla 3. se observan los resultados 2020 - 2021, y en la Gráfica 7. el comportamiento de los costos mensuales de los inidadores, por último, en la Gráfica 8. se muestra el comparativo de los costos totales del año 2020 - 2021, donde se observan los costos generados por costos de ppm's internos, sorteadoras, fletes extras y ppm's extremos para el año 2021 se obtuvo un ahorro de \$104,548.05 lo que equivale a una reducción de costos del 77% con respecto al año anterior.

Tabla 3. Resultados 2020 - 2021

Concepto por falta de adhesivo	Costos en dólares	Resultados 2020	Resultados 2021
Ppm's internos	\$21,048.98	\$16,070.00	
Sorteadoras activadas (mensual)	\$38,846.18	\$34,249.90	\$6,890.00
Fletes extraordinarios	\$51,300.00	\$21,006.00	
Ppm's externos	\$75,597.74	\$64,250.00	\$24,137.85
Total	\$186,792.90	\$135,575.90	\$31,027.85



Gráfica 7. Resultados mensuales



Gráfica 8. Comparativo año 2020 - 2021

Trabajo a futuro

Después de la implementación y analizando los resultados obtenidos, se establecerá un programa para integrar sensores en las líneas que apliquen de la Planta de Gergonne México, con la finalidad de asegurar que todos los rollos sean inspeccionados antes de ser surtidos a clientes o de pasar a las troqueladoras para la manufactura de partes que son enviadas a las armadoras o Tear 1 y 2.

Conclusiones

A través de la implementación del sensor (poka-yoke), se logran atender las quejas del cliente por falta de adhesivo en piezas troqueladas, cumpliendo con el objetivo planteado de disminuir los costos de calidad e incluso obteniendo un resultado mejor al esperado, evitando reclamos por parte del cliente por problemas de adhesividad al proyectar una mejora de este modo de falla por esta condición, donde varios clientes solicitaban mejoras para que no se presentara este problema en sus líneas de producción cuando se ensamblaba el material y se desprendía por falta de adhesivo.

La implementación de sensores (poka-yoke) ofrece diversas ventajas además de promover la mejora continua. Este sistema permite detectar el defecto a tiempo e incluso antes de hacer la pieza, lo que implica ahorro de energía, tiempo y disminución de scrap.

Referencias

- [1] L. Torres y et al, Poka-Yoke en línea de producción de cubiertas para portaequipaje automotriz, Ingenierías, vol. 1, nº 2, pp. 08-14, 2017.
- [2] C. Sánchez, Aplicación de la Metodología Jidoka para evitar incidentes de calidad con el cliente mediante la implementación de un sistema automatizado de regulación de torque, Zapopan, Jalisco: CIATEQ, 2020.
- [3] T. Hernández, *Implementación de Poka-yoke en herramental para disminución de PPM'S en estación de ensamble*, CATHI, nº 64, pp. 57-62, 2018.
- [4] H. Hirano, *Poka-Yoke*, Madrid: Tecnologías de Gerencia y Producción, S. A., 1991.
- [5] R. Noriega, *Diseño de dispositivo Poka Yoke para inserción guiada de terminales en industria arnesera*, Hermosillo, Sonora, 2019.
- [6] M. Heredia, *Diseño de prototipo para el desarrollo de sensores de detección selectiva*, Mexicali, Baja California, 2020.
- [7] F. Ortega y et al, *Diseño y fabricación de Poka Yokes para las líneas de ensamble de rodamientos de bombas de agua: Caso práctico*, ECORFAN, 2014.
- [8] L. Cuatrecasas, *Gestión Integral de la calidad*, Barcelona: Profit, 2017.
- [9] M. d. I. C. González y S. Islas, *Impacto de los adhesivos base solvente en los ambientes laborales*, Distrito Federal, 1996
- [10] Gergonne, *Gergonne The Adhesive Solution*, 2021. [En línea]. Available: <https://www.gergonne.com/es.html>. [Último acceso: 06 Enero 2021].

Beneficios de implantar la Norma PRIMUS GFS en una empacadora Hidalguense de tomate Saladette

K.L. Avilés Coyoli^{1*}, Y. Hernández Ortega¹, J.L. Viguera Cortés¹, L.I. Martínez Solís¹, G. Hernández Ávalos²

¹ Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Pachuca, Felipe Ángeles Km. 84.5, Col. Venta Prieta, C.P. 42083, Pachuca de Soto, Hidalgo.

*katia.ac@pachuca.tecnm.mx

² Estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Pachuca, Felipe Ángeles Km. 84.5, Col. Venta Prieta, C.P. 42083, Pachuca de Soto, Hidalgo.

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

En la actualidad es importante implementar sistemas de gestión de calidad en las empresas, porque contribuyen a mejorar la calidad, productividad y competitividad de sus productos y servicios. El presente artículo analiza el impacto en la implementación de la norma PRIMUS GFS versión 3.1, en el proceso de empaque de tomate Saladette en una empresa Hidalguense. En la primera etapa se realizó una auditoría de diagnóstico, posteriormente se realizaron las adaptaciones necesarias en la organización para certificarse, considerando cuatro módulos de la norma: sistemas de administración de inocuidad alimentaria (SAIA), buenas prácticas de manufactura (BPM), sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) y programa de controles preventivos (CP). En los resultados obtenidos se mejoró la calidad del producto y servicio; al disminuir 26% la devolución por cajas defectuosas, aumentar 11.5% las entregas a tiempo al cliente, otro beneficio fue incursionar en nuevos mercados, tanto como nacional e internacional.

Palabras clave: Calidad, Inocuidad Alimentaria, Norma Primus GFS, Empacadora de tomate.

Abstract

Currently it is important to implement quality management systems in companies, because they contribute to improving the quality, productivity and competitiveness of their products and services. This article analyzes the impact on the implementation of the PRIMUS GFS standard *version 3.1*, on the packaging process of tomato Saladette in a Hidalgo company. In the first stage, a diagnostic audit was carried out, then the necessary adaptations were made in the organization to be certified, considering four modules of the standard: food safety management systems (SAIA), good manufacturing practices (GMP), hazard analysis system and critical control points (HACCP) and preventive controls program (CP). In the results obtained, the quality of the product and service was improved; by decreasing the return for defective boxes by 26%, increasing 11.5% on-time deliveries to the customer, another benefit was to venture into new markets, both national and international.

Key words: Quality, Food Safety, Primus GFS Standard, Tomato packing plant

Introducción

Los sistemas de calidad son importantes dentro de las empresas ya que regulan y estandarizan el funcionamiento de cada una de las áreas con las que cuenta la organización, contribuyendo a la mejora continua; sin embargo, en las empresas de alimentos es necesario tomar en cuenta otro aspecto primordial como lo es la inocuidad de los alimentos, considerando que estos se encuentren libres de hongos, bacterias, materiales o productos químicos que afecten la salud del consumidor.

Para prevenir estos riesgos a la salud, surge la Iniciativa Mundial de Inocuidad Alimentaria (GFSI), que es una organización privada cuya misión es: "Proveer la mejora continua a los sistemas de gestión de inocuidad alimentaria para garantizar la confianza en el abasto de alimentos inocuos para los consumidores en todo el mundo" [1].

En el comercio mundial, la producción y venta de alimentos depende de diferentes sistemas de producción, manipulación y distribución, considerando el país de origen, lo que puede provocar un riesgo a la salud, es por ello que los países han adoptado normas que garanticen la inocuidad en los alimentos a lo largo de toda la cadena alimentaria y poder garantizar la calidad de los productos y servicios a nivel internacional, eliminando las barreras comerciales [2]

La Iniciativa Global de Seguridad Alimentaria (GFSI) reconoce varios sistemas de gestión de seguridad alimentaria, como son: *British Retail Consortium (BRC)*, *Food Safety System Certification (FSSC22000)*, *Safe Quality Food (SQF)*, *International Food Standard (IFS)*, *PRIMUSGFS*, que orientan a las empresas en la implementación de estos sistemas.

Los productores y distribuidores para acceder a los mercados internacionales, principalmente en países industrializados es necesario que implementen Sistemas de Gestión en Seguridad Alimentaria (SGSA), que permitan garantizar la inocuidad en los alimentos en la producción, almacenamiento y distribución de los mismos, evitando causar daño al consumidor y poder guiar a la organización en la prevención de riesgos [3].

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en una empacadora Hidalguense de tomate *Saladette*, las principales problemáticas identificadas fueron la falta de programas de inocuidad alimentaria, buenas prácticas de manufactura, el establecimiento de puntos críticos de control y controles preventivos de inspección, así como la evaluación periódica a proveedores, por último, las instalaciones carecían de mantenimiento y limpieza. En este sentido la implementación de la norma *PRIMUS GFS* versión 3.1 era necesaria para colocarse en un nuevo mercado como lo es Estados Unidos. El llevar a cabo esta implementación, infirió cambios económicos y administrativos en toda la organización, así como la tarea de sensibilizar al personal y mejorar la infraestructura. Se obtuvieron beneficios con la implementación de esta norma en temas de inocuidad alimentaria, seguridad e higiene, buenas prácticas de manufactura (BPM), sistema de análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP), además de programas en controles preventivos.

Por tanto, el objetivo principal de esta investigación, fue el obtener la certificación del proceso de empaque de tomate *saladette* mediante de la norma *PRIMUS GFS* vers. 3.1, en una empresa Hidalguense y conocer los beneficios y mejoras en la organización de este proceso, enfatizando que con la implementación de esta homologación en el sector agroindustrial se tiene que comprometer toda la organización, para llevar a cabo cambios en el proceso e infraestructura, donde el personal se abre a recibir capacitaciones, conocer nuevas formas de trabajo y ejecutar sus tareas en la empresa de una manera más eficiente, asegurando con ello la calidad del producto.

Marco Contextual

De acuerdo al Codex Alimentarius todas las personas tienen derecho a esperar que los alimentos que comen sean inocuos y aptos para el consumo, además de garantizar el comportamiento correcto en los mercados internacionales de los alimentos y coordinar todos los trabajos internacionales sobre normas alimentarias.

En el Manual de introducción a la inocuidad de los alimentos [4] se menciona que: Cuando la Organización Mundial de Comercio (OMC) inicia sus operaciones, entra en vigencia el Acuerdo sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (MSF), el cual establece la forma de aplicación de reglamentaciones en materia de higiene y protección de alimentos, en salud animal y en sanidad vegetal en lo que se refiere al comercio internacional agropecuario.

(...) cumplir con los lineamientos establecidos en el Acuerdo MSF de la OMC, además de ser un compromiso formal, representa un beneficio práctico para la industria agropecuaria de los estados que suscriben el acuerdo. Siempre que tengan el propósito de progresar en el acceso a los mercados internacionales de sus productos agropecuarios. Las empresas y los gobiernos deben responsabilizarse en adoptar una cultura en calidad y seguridad alimentaria atendiendo los lineamientos y directrices establecidos por organismos nacionales como internacionales, así como los mencionados en el Codex Alimentarius que van dirigidos a proteger la salud del consumidor, garantizar comportamientos correctos en el mercado internacional de los alimentos y coordinar todos los trabajos internacionales sobre normas alimentarias [4].

En los países existen autoridades reguladoras en inocuidad de alimentos, como: La *European Food Safety Authority (EFSA)* para la Unión Europea. En Estados Unidos: La Administración de Alimentos y Fármacos (FDA)

y el Departamento de Agricultura (USDA). Para Canadá la Agencia de Inspección de Alimentos de Canadá (CFIA). La Secretaría de la Integración Económica de Centro América (SIECA) [4].

En México se tienen organismos para regular aspectos relacionados con la seguridad alimentaria, como: el Sistema Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad (SENASICA) que protege los recursos agrícolas, acuícolas y pecuarios de plagas y enfermedades de importancia cuarentenaria y económica, o la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). También, se tienen certificaciones como: México Calidad Suprema, Certificación tipo Inspección Federal y *México-Good Agricultural Practice* (GAP), que respaldan la inocuidad alimentaria [5].

De acuerdo con Lugo et. al. en México un 20% de las micro, pequeñas y medianas empresas del sector alimentario “están aplicando” un sistema de gestión de inocuidad y calidad alimentaria (...). Lo que marca la pauta para implementar estos sistemas es el mercado, cuando el empresario tiene la necesidad de acceder a una cadena comercial o exportar, busca el programa de Inocuidad Alimentaria más adecuado a sus necesidades [5]

A nivel internacional se tienen certificaciones importantes: la *Food Safety System Certification* (FSSC22000), *Safe Quality Food* (SQF), que posibilita a la empresa a satisfacer requerimientos de los clientes alrededor del mundo y tener la oportunidad de participar en mercados internacionales.

Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se realizó una investigación aplicada de campo y cuantitativa, la cual constó de 4 etapas, en la primera se desarrolló un diagnóstico para verificar las condiciones en las que se encontraba la empresa previo a la implantación de la norma *PRIMUS GFS* ver 3.1, en la segunda se realizó un análisis e implementación del estándar acorde a los módulos aplicables a la empresa que fueron cuatro (de los siete que esta contiene), lo anterior debido a que la operación a ser auditada fue el proceso empaque, por lo que los módulos considerados fueron: el sistema administrativo de inocuidad alimentaria (SAIA), buenas prácticas de manufactura (BPM), sistema de análisis de riesgos críticos y puntos de control (HACCP) así como los controles preventivos (CP), posteriormente se llevó a cabo la auditoría de certificación en este estándar, finalmente se analizó el impacto de las mejoras realizadas por medio de indicadores de rendimiento basados en el servicio al cliente.

Diagnóstico inicial

En la auditoría de diagnóstico, es importante realizar una visita técnica y apoyarse de una lista de verificación, para identificar la situación actual de la empresa en cuanto a los requisitos que solicita la norma *PRIMUS GFS* (Figura 1), posteriormente se procede a calcular el porcentaje de incumplimiento de éstos para después determinar los puntos críticos de mayor significancia que darán pie al establecimiento de las acciones correctivas. Una parte fundamental en los procesos de certificación, es la concienciación y socialización de la norma con los integrantes de la organización para fomentar el compromiso, cultura de calidad y desarrollo de conocimientos en el estándar [6].



Figura 1. Auditoría de diagnóstico en la empacadora de tomate *Saladette*.

Con base en lo anterior, la auditoría interna se realizó en la empresa tomando como base [7], las guías de auditoría de este estándar para conocer las condiciones en las que se encontraba, considerando los módulos: SAIA, BPM y HACCP, así como los aspectos: auditoría documental, personal e infraestructura. En total se

auditaron 92 numerales, el criterio para valorar el riesgo se realizó considerando que este fuera bajo, medio o alto. En la Tabla 1, se presentan el número de preguntas que se realizaron para cada módulo. El número de hallazgos en cada uno de los tipos de riesgos, fueron los siguiente: el riesgo bajo obtuvo el 1%, el medio 35.9% y el alto 63.1%. El mayor número de preguntas que se verificaron correspondió al módulo de buenas prácticas de manufactura (BPM) debido a que la certificación estuvo enfocada al proceso de empaque del tomate *Saladette*.

Tabla 1. Tipo de riesgos encontrados por módulo en la Auditoría de Diagnóstico.

Módulo Auditado Primus GFS	No. Preguntas	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
1. SAIA	16	1	8	7
5. BPM	74	0	25	49
6. HACCP	2	0	0	2
Total	92	1	33	58
Porcentaje	100%	1%	35.9%	63%

Se destaca que la empresa ya contaba con el Certificado Fitosanitario emitido por SENASICA con número de registro UE2018003197, razón por la que el proceso de implementación de la norma *PRIMUS GFS* estuvo basado en la actualización 3.1.

Análisis e Implementación del estándar *PRIMUS GFS* versión 3.1

Con los resultados obtenidos de la auditoría de diagnóstico, lo siguiente fue realizar la implementación del estándar, este proceso consistió en analizar cada uno de los requerimientos solicitados por éste, y en aquellos casos en los que se requería hacer una mejora, se establecieron estrategias para lograrlo, mismas que fueron documentadas; finalmente en una lista de verificación que contenía los numerales aplicables a la empresa por módulo, se registró el resultado de la evaluación antes y después, de la implementación sobre las acciones realizadas.

En la Tabla 2, se ejemplifica una parte de la lista de verificación para el módulo 1 SAIA, el cual establece que la organización debe contar con documentos y registros que aseguren la inocuidad de los alimentos, en este se analizaron los 12 numerales que lo integran: 1.01.01, 1.01.04, 1.01.06, 1.02.05, 1.04.01, 1.04.02, 1.04.04, 1.06.02, 1.06.03, 1.06.04, 1.07.03 y 1.08.01, destacando que el 1.01.06 no era aplicable y el 1.04.04 era el único que cumplía con el requisito, los 10 restantes no se cumplían (representando el 83.3%), atendiendo lo anterior, se llevaron a cabo estrategias para su implementación y cumplimiento .

Tabla 2. Ejemplo de requisitos evaluados en el módulo 1 SAIA.

Número	Antes de la implementación	Después de la implementación
1.01.01	No se contaba con política de calidad.	Se establece la política de calidad como un compromiso para cumplir con los requisitos del cliente.
1.01.04	No contaba con plan de capacitación.	Ahora se cuenta con un programa de capacitaciones al personal en el cual se abarcan temas de inocuidad alimentaria, higiene y seguridad, BPM, manejo de la máquina empacadora.
1.01.06	No aplica pues solo se habla de proceso de empaque y no de granja-invernadero.	

De la misma manera se analizó el módulo 5 BPM que es una parte fundamental para asegurar la inocuidad alimenticia, ya que está enfocado en el correcto proceso y manejo de los alimentos abordando temas de buenas prácticas de manufactura, inocuidad en los alimentos, la maquinaria, proveedores e insumos, en este se analizaron 24 numerales que lo integran: 5.01.01, 5.02.01, 5.02.02, 5.02.03, 5.02.06, 5.02.07, 5.03.04, 5.04.02,

5.04.05, 5.04.10, 5.04.13, 5.04.14, 5.05.06, 5.05.13, 5.08.07, 5.10.09, 5.11.04, 5.13.02, 5.13.03, 5.13.06, 5.16.01, 5.16.02, 5.16.05 y 5.17.04, de estos los que si cumplían con los requisitos solicitados por el estándar fueron 5 numerales: 5.02.01, 5.02.06, 5.02.07, 5.13.02 y 5.16.05 lo que representa el 20.83%, el 5.10.09 no era aplicable por políticas de privacidad de la empresa (4.17%), el resto de los numerales (18) no cubrían los requisitos, esta cifra representa el 75% de incumplimiento. La Tabla 3 muestra una parte de la lista de verificación para el módulo BPM.

Tabla 3. Ejemplo de requisitos evaluados en el módulo 2 BPM.

Número	Antes de la implementación	Después de la implementación
5.01.01	No se contaba con responsable de inocuidad alimentaria en la organización.	Se declara un responsable de inocuidad alimentaria.
5.02.01	Dentro de la empacadora de tomate, se cuenta con un control de plagas para erradicar todo tipo de insecto, roedor, ave, reptil o mamífero, así se asegura la calidad de la materia prima.	
5.02.02	No se cuenta con un almacén de materia prima libre de plagas.	Se cuenta con un almacén de materia prima libre de impurezas a un costado del área de producción.

Para la implementación del módulo HACCP fue necesario que la empresa contara con los siguientes prerrequisitos: 1) Capacitación, 2) Salud e higiene del personal 3) Higiene y sanitización de las instalaciones, 4) Mantenimiento sanitario de equipos, 5) Verificación y ajuste de equipos de medición, 6) Control de químicos, 7) Control del agua, 8) Control de fluidos corporales, 9) Control de materia extraña, 10) Control de proveedores, 11) Trazabilidad y retiro del producto, 12) Defensa alimentaria, 13) Gestión de quejas y reclamos y 14) Evaluaciones internas, en cada uno de estos prerrequisitos se diseñó un documento para su seguimiento.

Después, se realizaron los pasos preliminares a los 7 principios que marca el estándar, entre los que se contempló el formar el equipo HACCP con personal de la empresa, este fue con un enfoque multidisciplinario para poder analizar los peligros, el equipo estuvo integrado por un líder, el jefe del almacén, de producción, de compras y el del área de ventas. Después se realizó la descripción del producto, del proceso de empaque, distribución, la vida en anaquel, instrucciones de manejo y las condiciones requeridas en la distribución. También se diseñó el diagrama de flujo del proceso de empaque y su verificación *in situ*. Por último se llevó a cabo la aplicación de los 7 principios del módulo HACCP: 1. Realizar un análisis de peligros, 2. Determinar los puntos críticos de control (PCC), 3. Establecer un límite o límites críticos, 4. Establecer un sistema de vigilancia del control de los PCC, 5. Establecer las medidas correctivas que han de adoptarse cuando la vigilancia indica que un PCC no está controlado, 6. Establecer procedimientos de comprobación para confirmar que el sistema de HACCP funciona eficazmente, 7. Establecer un sistema de documentación de todos los procedimientos así como los registros para los principios ya mencionados y su aplicación (Tabla 4).

Tabla 4. Secuencia de actividades para la implementación del sistema HACCP.

Secuencia lógica para la aplicación del sistema HACCP		
No. de paso	No. de Principio	Nombre de la etapa de implementación
1	Pasos preliminares	Formación del equipo HACCP
2		Descripción del producto
3		Determinación del uso previsto del producto
4		Elaboración de un diagrama de flujo
5		Verificación <i>in situ</i> del diagrama de flujo
6	1	Enumeración de todos los riesgos posibles Ejecución de un análisis de peligros Determinación de las medidas de control
7	2	Determinación de los Puntos Críticos de Control (PCC)
8	3	Establecimiento de los límites críticos para cada PCC
9	4	Establecimiento de un sistema de vigilancia para cada PCC
10	5	Establecimiento de medidas rectificadoras para las posibles desviaciones
11	6	Establecimiento de procedimientos de verificación
12	7	Establecimiento de un sistema de registro y documentación

En el módulo HACCP se requiere del establecimiento de controles preventivos, para lo cual se llevó a cabo el análisis de peligros, mismo que se realizó considerando la severidad de éstos: peligro alto, peligro medio y peligro bajo (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de los peligros de acuerdo con su severidad.

Peligro Alto	Todo peligro físico, químico o biológico que puede provocar daños severos a la salud del consumidor, que puedan resultar en lesiones permanentes o la muerte.
Peligro Medio	Todo peligro físico, químico o biológico que puede provocar daños moderados a la salud del consumidor, que puedan resultar en hospitalización o incapacidades parciales o totales.
Peligro Bajo	Todo peligro físico, químico o biológico que puede provocar daños menores a la salud del consumidor, que puedan resultar en malestares generales sin incapacidades parciales.

Posteriormente se establecieron los tipos de peligros identificando tres: físicos, químicos y biológicos que pudieran afectar la inocuidad del tomate *Saladette* en cada una de sus etapas del proceso de empaque, en la Tabla 6, se ejemplifica la clasificación de peligros físicos.

Tabla 6. Tipos de peligros físicos en el proceso de empaque de tomate *Saladette*.

Peligro	Origen	Clasificación
Vidrios	Lámparas, focos, utensilios, termómetros.	Medio
Metales	Tuercas, pernos, tornillos, alambre, óxido	Bajo
	Rebabas de metal	Medio
Plásticos	Materiales de empaque	Bajo
Objetos personales	Alhajas, lápices / lapiceras, botones, colillas de cigarro	Bajo
Pintura	Restos de pintura	Bajo
Madera	Astillas	Medio
Plagas	Toda clase de insectos, animales rastreros	Bajo

Después, se realizó la determinación e identificación de los puntos críticos de control (PCC) del tomate *Saladette* en su recorrido por el proceso de empaque, analizando cada etapa e identificando el porqué de algún peligro físico, químico o biológico y poder determinar de esta manera el cómo poder erradicar cada uno de esos posibles peligros en sus diferentes etapas. La secuencia de decisiones para identificar los PCC se basaron en 4 preguntas (Tabla 7) y en la Tabla 8 se ejemplifica la identificación de éstos.

Tabla 7. Secuencia de preguntas para identificar los Puntos Críticos de Control en el módulo HACCP.

No.	Pregunta
1	¿Existen medidas preventivas de control?
2	¿Ha sido la fase específicamente concebida para eliminar o reducir a un nivel aceptable la posible presencia de un peligro?
3	¿Podría producirse una contaminación con peligros identificados superior a los niveles aceptables, o podrían estos aumentar a niveles inaceptables?
4	¿Se eliminarán los peligros identificados o se reducirá su posible presencia a un nivel aceptable en una fase posterior?

Una vez establecidos los puntos críticos de control, se diseñó un programa de controles preventivos dentro del proceso de empaque del tomate para cada uno de los peligros que ya se habían identificado.

Auditoría de certificación

El plan *PRIMUS GFS* cubre los ámbitos de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Fabricación (GMP), así como los Sistemas de Gestión de Seguridad Alimentaria. La certificación en este estándar, proporciona a sus clientes pruebas y garantías de que sus programas de seguridad alimentaria de granjas, cosecha e instalación son efectivos y están en línea con los estándares de seguridad alimentaria reconocidos a nivel mundial. La primera auditoría de certificación en esta empresa con número de registro OC: NORMEX-PGFS-59, se llevó a cabo el 10 de diciembre de 2019, resultando favorable para ésta, por lo que se puede afirmar el estándar de calidad fue implementado de manera correcta, por lo tanto, el organismo certificador se encarga de emitir el certificado con una validez de un año, en el caso de esta empresa su primer certificado tuvo validez del 7 de enero de 2020 al 6 de enero de 2021 con una puntuación final de 96% en la auditoría.

Tabla 8. Identificación de puntos críticos de control en el proceso de empaque de tomate Saladette.

Etapa	Tipo de peligro	Peligros introducidos, controlados, aumentados o reducidos	Preguntas*				¿Es ésta etapa un PCC? (Asignar número)
			P1	P2	P3	P4	
Nombre							
Recepción de materia prima	a.Físico b.Químico c.Biológico d.Alérgenos	a.Basuras de campo como ramas puntiagudas o cualquier forma de la rama, piedras o un residuo de metal por herramienta, transporte o cualquier material que tenga o pudiera tener contacto con el producto. b.Residuos de plaguicidas o de sustancias desinfectantes para superficies de contacto directo con el producto ya sea de origen de síntesis química u orgánica. c. <i>Salmonella spp</i> , <i>E. coli</i> O157: H7 y Coliformes fecales d.Huevo, leche, pescado, crustáceos, frutos secos, cacahuete, trigo, soya.	Si	Si	No	NA	NO

Indicadores de rendimiento

Uno de los puntos clave para el éxito y permanencia al implantar un estándar de calidad es la evaluación del desempeño, en donde el seguimiento, medición, análisis y evaluación son fundamentales para que se cumplan las estrategias, metas y objetivos de la organización. Los indicadores de desempeño, miden aspectos directos de las actividades, de productos o de programas, al medir componentes estratégicos o de resultados. Estas medidas cuantitativas reflejan claramente que tan bien se están cumpliendo los objetivos. En cuanto a los indicadores de proceso es el reflejo del trabajo en equipo de los involucrados [8]. En la Tabla 9, se dan a conocer los indicadores de rendimiento también llamados indicadores clave de desempeño (KPI's por sus siglas en inglés: *Key Performance Indicator*) que fueron utilizados para determinar la eficiencia en el proceso de empaque con base en la satisfacción del cliente ya que la empresa tiene como principal función brindar el servicio de entrega de tomate.

Tabla 9. Indicadores de rendimiento para la eficiencia del proceso con base en la satisfacción del cliente.

No.	Indicador de rendimiento
1.	$\text{Calidad} = \frac{\text{Número de unidades conformes}}{\text{Número total de unidades}}$
2.	$\% \text{ Devolución de producto defectuoso} = \frac{\text{Número de notas crédito por producto defectuoso}}{\text{Total de facturas emitidas}}$
3.	$\text{Porcentaje de entregas a tiempo y completos} = \frac{\text{Pedidos facturados}}{\text{Pedidos comprometidos}}$

4.	$\text{Efectividad en atención a reclamos} = \frac{\# \text{ de días que lleva atender el reclamo}}{\# \text{ de días metas}} * 100\%$
----	--

Resultados y discusión

Las mejoras obtenidas considerando los indicadores de rendimiento establecidos se concentran en la Tabla 10, en esta se observa que fueron significativas, para el indicador de calidad, cuya función es identificar el número de cajas de tomate conformes, entregadas por los proveedores para la empresa se incrementó en 28% después de haber diseñado y puesto en marcha un plan de capacitación para que éstos entregaran su materia prima de manera adecuada, ya que anteriormente la entregaban con hojas, tierra y con tomate de baja calidad. Respecto al indicador porcentaje de devolución de producto defectuoso este cambió de 74% a 100%, con este indicador se mide el número de quejas por parte de los clientes en relación con las cajas que tienen producto inconforme el cual se debe reponer en su totalidad en un lapso de tiempo, el 100% registrado después de la implementación del estándar indica que ahora este proceso se cumple en su totalidad en tiempo y forma ya que se cuida la satisfacción del cliente.

Para el indicador porcentaje de entregas a tiempo y completos este evalúa el cumplimiento de las entregas con base a los pedidos solicitados, antes de la certificación sucedía que había pedidos no realizados debido a una incorrecta programación de éstos lo que ocasionaba demoras en las entregas, la mejora en este indicador fue del 11.5%. Respecto a la atención a las observaciones y reclamos de los clientes se toma en cuenta el cuarto indicador que muestra de que manera se atiende en forma inmediata las llamadas y correos de éstos, antes de la certificación este periodo era de 3.3 días en promedio debido a que no se contaba con un sistema de atención a quejas establecido de manera formal pudiendo ser disminuído a 1.5 días. Finalmente a manera de complementar los indicadores anteriores se realizaron encuestas de satisfacción al cliente con preguntas que evalúan si el producto es entregado en tiempo y forma, si se cumplen las condiciones de empaque, el cargamento venía acomodado de manera correcta, si el transporte es inocuo, si el producto tiene ficha de identificación y tiene un sistema de trazabilidad para la identificación de producto no conforme.

Tabla 10. Comparativo de la mejora en los Indicadores de rendimiento.

Indicador	Antes de PRIMUS	Después de PRIMUS	% de Mejora	Estrategia implementada
Calidad	72%	100%	28	Programa de capacitación a proveedores y lista de requisitos establecida por la empresa.
% Devolución por producto defectuoso	74%	100%	26	Programa de capacitación en buenas prácticas de manufactura.
% de entrega a tiempo y completos	87%	98.5%	11.5	Programación de pedidos con base en la capacidad de la empresa.
Efectividad en atención a reclamos	3.3 días	1.5 días	45.45	Se cuenta con un encargado de atender y dar seguimiento a las quejas de los clientes así como un formato para dar seguimiento.

Trabajo a futuro

Una vez implementado el estándar y como parte del proceso de mejora continua, se proponen las siguientes mejoras:

1. Realizar auditorías de manera periódica a proveedores de materia prima en sus instalaciones.
2. Mejorar el proceso de logística en la cadena de suministro, con la finalidad de reducir al máximo el tiempo de almacenamiento de materia prima para que el producto sea lo más fresco posible.
3. Revisar y actualizar de manera continua los programas de capacitación al personal en temas de producción, limpieza y seguridad e higiene.
4. Verificar las actualizaciones que se realicen a la norma *PRIMUS GFS* para las futuras certificaciones.

Conclusiones

Aun cuando los costos generados por implementar un sistema de gestión en seguridad alimentaria (SGSA) sean altos y el proceso para obtener cambios sea gradual; los beneficios que se pueden obtener a corto y mediano plazo son mayores, porque se mejora la coordinación entre áreas y departamentos, el personal mejora su desempeño, se asegura la calidad e inocuidad de los alimentos en las etapas de producción, almacenamiento y distribución, generando confianza para el consumidor y aumenta la confiabilidad en la compra de los productos, lo anterior permite incrementar la productividad, calidad y rentabilidad de la empresa. Es por ello que contar con este tipo de certificaciones se ha convertido en una creciente necesidad debido a que permite a los compradores estar seguros acerca de la calidad de los productos que adquieren, mientras que a los proveedores les permite entrar en un mercado específico o continuar en él. Por todo lo expuesto anteriormente es posible afirmar que el objetivo de esta investigación se cumplió al 100% ya que la organización logró certificarse en el estándar y el porcentaje de mejora en promedio para los indicadores de rendimiento establecidos fue del 27.8%.

Sin embargo, para lograrlo es importante involucrar a todo el personal e inculcar en ellos una cultura sobre la inocuidad en los alimentos, que permita tomar conciencia y contribuir de manera eficaz a la implementación del (SGSA). En este sentido existen grandes retos para la transmisión del conocimiento y su implementación en las empresas, así como para los productores de alimentos interesados en tener un mejor acceso a los mercados, pero una vez que se logra la certificación, indudablemente la gestión de actividades mejora, al evidenciar que su operación es segura, responsable y confiable como parte de un proceso de mejora continua. Finalmente el poseer una certificación emitida por la Iniciativa Global de Inocuidad Alimentaria (GFSI), posibilita a la empresa satisfacer requerimientos de los clientes alrededor del mundo y tener la oportunidad de participar en mercados internacionales y poder ser más competitivos.

Agradecimientos

Se agradece a la empresa INVERFAT S.R de R.L de C.V; por las facilidades brindadas para realizar esta investigación.

Referencias

- [1] "Global Food Safety Initiative (GFSI)",mygfsi, (sep.,2019). [En línea]. Disponible: https://mygfsi.com/wp-content/uploads/2019/09/GFSI-General-Presentation_SP.pdf. [Último acceso: 2 agosto 2022].
- [2] L. Gil, P. Ruiz, L. Escrivá, G. Font y L. Manyes, "A decade of Food Safety Management System based on ISO 22000A GLOBAL overview", Rev. de Toxicología, vol.34, no.2, pp.84-93, 2017. Consultado: 5 ago. 2022. [En línea]. Disponible: <http://rev.aetox.es/wp/wp-content/uploads/2017/12/34.2.1.pdf>
- [3] D.L. Ríncon Ballesteros, "Perspectivas Empresariales sobre Sistemas de Gestión de Seguridad alimentaria", *Tesis de doctorado, Universidad de Salamanca, Salamanca, 2021*. [En línea].Disponible: <https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?idFichero=CS1Fpb8Mw5E%3DM>.
- [4] Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria, "Manual de introducción a la inocuidad de los alimentos". Dir. Reg. Inc. Alim., San Salvador, El Salvador, 2018, pp.57-62. [En línea]. Disponible: <https://www.oirsa.org/contenido/2019/Manual%20de%20Introduccion%20a%20la%20Inocuidad%20de%20los%20alimentos%20-%20OIRSA.pdf>

- [5] O. Y. Lugo, C. Alvarado y E.L. Ramírez, *Inocuidad y trazabilidad de los alimentos mexicanos*, 1 ed. Guadalajara, México: CIATEJ, 2017, pp.31-32. [En línea]. Disponible: <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/585/1/Ram%C3%ADrez%202017%20Sistemas/Inocuidad%20LIBRO%20INOCUIDAD%20Y%20TRAZABILIDAD.pdf>
- [6] V. R. Vera, (2021). "Propuesta de un Manual de Buenas Prácticas de Manufactura para la Empresa Agroalava S.A.", Monografía, Universidad de Guayaquil, Ecuador, 2021. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/54666> . [Último acceso: 8 junio 2022].
- [7] Primus GFS, Versión 3.1., Primus GFS.,2019. [En línea]. Disponible: <https://primusgfs.com/pgfs-v3-1/>
- [8] H. Gutiérrez Pulido, *Calidad y Productividad*, 5 Ed., México: Mc Graw Hill, 2020.

Inspección autónoma de limón mandarina mediante procesamiento digital de imágenes y deep learning.

E. L. Fernández Mateos^{1*}, G. Rivera Jácome^{1**}, A. A. Aguilar Lasserre ^{1***} J. Sánchez Juárez ²,
¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Oriente 9, No. 852, Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Ver., México
² Universidad de Rochester, 500 Joseph C. Wilson Blvd., C.P. 14627, Rochester, Nueva York, Estados Unidos

* evelynfernandezm@gmail.com

** gisellerivera199@gmail.com

***albertoaal@hotmail.com

jesussanz0712@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Industrial.

Resumen

El proceso para la clasificación y control de calidad del limón que se lleva a cabo en las empresas comercializadoras usualmente es realizado de forma manual, personal capacitado se encarga de inspeccionar y clasificar el producto. Actualmente, muchas empresas buscan automatizar procesos como este, con el fin de reducir el error humano y tiempos en la inspección, recurriendo a técnicas sofisticadas que involucran tecnología. Un ejemplo de esto es el procesamiento de imágenes, que se encuentra en la rama de la inteligencia artificial y que día a día resulta más indispensable en las organizaciones. En el presente trabajo se creó una base de imágenes a la cual se le aplicó un procesamiento mediante una red neuronal convolucional llamada AlexNet, se desarrolló un algoritmo adaptándolo a esta, usando MatLab® como herramienta para el procesamiento y clasificación de limones logrando reducir el tiempo de inspección.

Palabras clave: Limón mandarina, tratamiento de imágenes, calidad.

Abstract

The process for the classification and quality control of lemons that is carried out in marketing companies is usually done manually, with trained personnel in charge of inspecting and classifying the product. Currently, many companies are seeking to automate processes such as this, to reduce human error and inspection times, resorting to sophisticated techniques that involve technology. An example of this is image processing, which is in the field of artificial intelligence and is becoming more indispensable in organizations every day. In the present work, an image base was created to which processing was applied by means of a convolutional neural network called AlexNet, and an algorithm was developed and adapted to it, using MatLab® as a tool for processing and classifying lemons, thus reducing inspection time.

Key words: Lemon mandarin, image processing, quality.

Introducción

El procesamiento de imágenes tiene una amplia gama de aplicaciones en diferentes sectores, que pueden ir desde lo académico hasta lo industrial, en donde la obtención de información a partir de imágenes permite la toma de decisiones con base en modelos de patrones establecidos por estas. El procesamiento de imágenes se utiliza en diversas áreas. Se basa en procesar señales, de forma digital, analógica u óptica (captación de luz), y con ellas realizar operaciones para obtener una imagen mejorada que permita una fácil y mejor interpretación. [1]

Uno de los grandes retos de la Inteligencia Artificial (IA), y más concretamente del *Deep Learning* (aprendizaje profundo) han sido las Redes Neuronales Artificiales (RNA), que permiten el desarrollo de funcionalidades más complejas, en donde la subjetividad humana juega un rol decisivo. [2] Como, por ejemplo, el reconocimiento de patrones, la deducción de información a partir un conjunto o una base de datos, e inclusive la predicción de

comportamientos. Existen proyectos en donde se ha demostrado la utilidad y eficiencia de esta técnica, Gustavo Willy Carpio Cornejo, trabajó en el desarrollo de un sistema que mediante redes neuronales artificiales ayudó a evaluar a pacientes neurológicos que habían obtenido un diagnóstico de narcolepsia tipo II, aplicándolo a las señales electroencefalográficas (EEG). [3] Por otro lado, Sánchez Juárez Jesús desarrolló un algoritmo que permitía detectar monocapas de diselenuro de tungsteno (WSe_2), disulfuro de molibdeno (MoS_2) y nitruro de boro (h-BN), de forma autónoma utilizando procesamiento de imágenes y Deep Learning, todo con una alta tasa de precisión para evitar la interacción humana y cualquier otra prueba adicional. [4]

Las redes neuronales convolucionales son comúnmente utilizadas para el procesamiento de imágenes. Este tipo de redes neuronales se caracterizan por usar la operación de convolución como suplente de la multiplicación de matrices.

Una capa convolucional se conforma generalmente por tres etapas: las operaciones de convolución, seguido de la función de activación no lineal y por último una operación de *pooling* (capa de reducción).

Un tipo muy común de una red convolucional es la red Alexnet. La arquitectura de esta red se muestra en la **Figura 1**. Se conforma de cinco capas convolucionales y tres capas *fully-connected* (completamente conectadas), que se explican con más detalle a continuación.

Capa	Etapas	Dimensionalidad
Capa de entrada	Normalización zero-center	277x277x3
Capa convolucional	Convolucional	96 convoluciones de 11x11x3
	ReLU	—
	Normalización entre canales	Normalización con 5 canales
	Pooling	3x3
Capa convolucional	Convolucional	256 convoluciones de 5x5x48
	ReLU	—
	Normalización entre canales	Normalización con 5 canales
	Pooling	3x3 max pooling
Capa convolucional	Convolucional	384 convoluciones de 3x3x256
Capa convolucional	ReLU	—
	Convolucional	384 convoluciones de 3x3x192
Capa convolucional	ReLU	—
	Convolucional	256 3x3x192
	ReLU	—
	Pooling	3x3
Capa fully-connected	Fully-connected	4096
	ReLU	—
	Dropout 50 %	—
Capa fully-connected	Fully-connected	4096
	ReLU	—
	Dropout 50 %	—
Capa final	Fully-connected	1000
	Softmax	—
	Clasificación	—

Figura 1 Arquitectura de red AlexNet. [5]

En la primera capa se reciben imágenes de entrada, cuya dimensión debe ser de 227x227x3 píxeles. Las siguientes cinco capas convolucionales extraen características de las imágenes. Las dos primeras capas contienen una etapa de *pooling* de 3x3 con solapamiento, el cual reduce las dimensiones de la salida de la red para que en la etapa siguiente aumente la profundidad de la capa de convolución. Con esto se logra obtener características más complejas y la eliminación de la información espacial. Las dos capas siguientes clasifican las imágenes por medio de capas *fully-connected*, en las cuales las neuronas se encuentran conectadas entre sí. Las dos capas de *dropout* (abandono) son utilizadas para reducir el *overfitting* (sobreajuste). Su funcionamiento se basa en poner a cero la salida de algunas neuronas pertenecientes a las capas ocultas. En la capa final se utiliza una *fully-connected* con un tamaño de salida de 1000 (este es el número de clases para el que fue entrenada). Posterior a esta capa, se encuentra una función softmax que se encarga de calcular la probabilidad del dato de entrada de pertenecer a cualquiera de las clases. Por último, una capa de clasificación se encarga de dar una solución a partir de las probabilidades obtenidas de la *softmax*.

En la **Figura 2** se ve de forma gráfica el funcionamiento de una capa de AlexNet. Se puede observar que las capas convolucionales son representadas como cajas más anchas que las *fully-connected*, lo que indica la profundidad de la capa. [5]

variaciones morfométricas colorimétricas utilizando datos estadísticos de posicionamiento en los canales RGB de una imagen. [12]

El proyecto desarrollado por J.C Romero Pabon presentó una técnica basada en el análisis matemático y el tratamiento de imágenes para determinar el porcentaje de granos partidos en muestras de arroz. La cual está diseñada con un algoritmo que consta de cinco etapas para el análisis y procesamiento de una imagen digital. Con base en los resultados obtenidos se concluye que la técnica creada es eficaz para determinar el porcentaje de granos partidos en muestras de arroz, factor de mucha importancia para la clasificación y calidad del grano. [13]

Pero el sector industrial no ha sido el único beneficiado al implementar el tratamiento de imágenes, para E. Cortés Pérez y S. Sánchez Sánchez el sector salud fue el campo de aplicación, ya que lograron la detección de COVID-19 por medio de imágenes. Se demostró que la transferencia de aprendizaje a la red convolucional AlexNet, da una solución económica, veloz y automática, para diagnosticar de forma eficiente los síntomas relacionados con la enfermedad de Coronavirus. Se tomaron 11,312 imágenes de rayos X del pecho de personas de dos grupos (COVID-19, normal) y se demostró que el rendimiento de AlexNet es mejor en comparación con otros estudios. [14]

Para el presente proyecto se realizó un sistema de carácter demostrativo empleando Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) y utilizando una red neuronal convolucional. Se utilizó el software MatLab® como herramienta para desarrollar un algoritmo que pudiera clasificar limones mandarina analizando el color en el que estos pueden encontrarse, (verde, naranja y café), y determinar si se trata de limones de buena o mala calidad.

Características del limón mandarina (*Citrus x limonia*).

Los cítricos son un tipo de especie perteneciente al género citrus y que representan un papel importante en la alimentación de las personas. Se caracterizan por la presencia, en toda la planta, de un aceite esencial que le da su característico olor. Las especies de este grupo brindan vitamina C y minerales (calcio y fósforo). Los cítricos forman parte de la clase *Angiospermae*, de la subclase dicotiledónea, de la orden *rutae*, de la familia *rutaceae* y del género *citrus*, y existen más de 145 especies, entre las que sobresalen: naranja (*citrus sinensis*), mandarina (*citrus reticulata*), limón (*citrus limón*), lima (*citrus aurantifolia*), y toronja (*citrus paradisi*). [15]

Se dice que el limón mandarina se originó en el subcontinente indio. Es de color naranja brillante, del tamaño de una clementina y un cruce entre un limón y una mandarina, por lo que se puede pelar y segmentar fácilmente (Véase **Figura 3**). El jugo es extremadamente ácido, como el de un limón, pero con un aroma profundamente floral a madrelelva. Las hojas tienen un aroma a lima *kaffir* y se pueden utilizar para cocinar. [16]



Figura 3 Limón mandarina (*Citrus x limonia*).

Metodología

A continuación, se enlistan los pasos de la metodología seguida.

1. Identificación del problema.
2. Búsqueda de sistemas de optimización mediante inteligencia artificial.
3. Selección de alternativa de tipo de entrenamiento para la red neuronal convolucional.
4. Creación de la base de datos y selección de la información para el entrenamiento de la red.

5. Ajuste de tamaño de imágenes de la base de datos.
6. Selección del espacio de color óptimo (RGB, HSV, YCbCr y L*a*b- *color thresholder*).
7. Selección del objetivo de las imágenes (creación de etiquetas-*image labeler*).
8. Entrenamiento de la red.
9. Aplicación de algoritmo para clasificación de limones de acuerdo con su calidad (buena calidad y mala calidad).

Desarrollo de la metodología

El control de calidad es una de las partes más importantes de cualquier empresa, ya que cuando en todas las actividades y dependencias de un sistema productivo se involucra el concepto, esto se refleja en la calidad de los productos finales del sistema. Uno de los problemas más frecuentes en la identificación de calidad por inspección es la subjetividad con la que las personas determinan si un producto es de calidad o no, así como el tiempo de clasificación y separación de productos y el error de interacción humana con el proceso.

El presente proyecto pretende desarrollar un sistema que permita convertir las inspecciones visuales hechas por humanos en inspecciones de calidad automatizadas. El objetivo principal de este trabajo es identificar, mediante el uso del tratamiento de imágenes, la calidad de limones mandarina. Una vez realizado esto, se logrará reducir la interacción humana en el control de calidad de los limones, optimizar tiempos y recursos, y adaptar una red neuronal que permita la identificación automática del color de los limones para su clasificación (buena calidad y mala calidad).

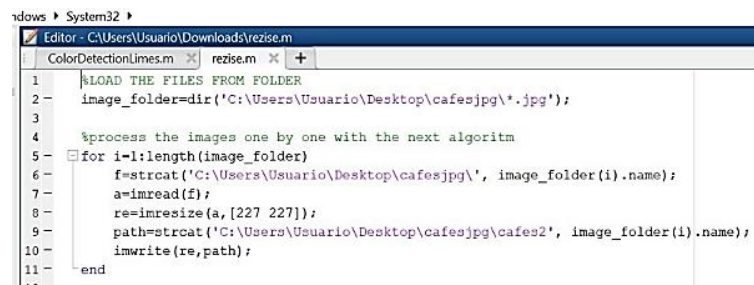
Debido a que el presente trabajo es de carácter demostrativo, se identificó un área de oportunidad en la que se podían recolectar muestras de limón mandarina (*citrus x limonia*) y a partir de ello se decidió realizar un sistema que permitiera identificar y separar los limones de acuerdo con su calidad (basándose en el color de los limones y aplicando la técnica de tratamiento de imágenes).

Se realizó una búsqueda de sistemas que permitieran la optimización mediante inteligencia artificial y tratamiento de imágenes mediante *Deep Learning*.

Con ayuda de un experto, se seleccionó la red convolucional de las alternativas que se tenían, en este caso eran dos: red entrenada desde cero (training *from scratch*) y red pre-entrenada (*transfer learning*). Se seleccionó el tipo de red convolucional que se utilizaría, en específico la red neuronal pre-entrenada Alexnet y se determinó que el software que se utilizaría sería MatLab®.

Posteriormente, se creó una base de datos y se seleccionó la información para el entrenamiento de la red neuronal. Se simuló un proceso de inspección de limones mandarina utilizando la técnica Computer Vision (CV), se obtuvieron imágenes de una banda transportadora de limones de diferentes colores. Los limones se clasificaron en tres grupos: limones verdes, limones naranjas y limones cafés o con manchas por descomposición, cada uno ubicado en una carpeta específica. Dentro de cada una de las carpetas (verdes, naranjas y cafés) se creó manualmente una subcarpeta con un nombre específico en el que se guardarían las imágenes con nuevas dimensiones.

Debido a que se iba a trabajar con la red AlexNet, se utilizó un algoritmo para modificar las dimensiones de las imágenes obtenidas a un tamaño de 227 x 227 píxeles, ya que esta red solo trabaja con imágenes de estas dimensiones (Véase **Figura 4**). El algoritmo se desarrolló en el apartado de Script de MatLab®.



```
Editor - C:\Users\Usuario\Downloads\resize.m
ColorDetectionLines.m  x  resize.m  x  +
1  %LOAD THE FILES FROM FOLDER
2  image_folder=dir('C:\Users\Usuario\Desktop\cafes\*.jpg');
3
4  %process the images one by one with the next algorithm
5  for i=1:length(image_folder)
6      f=strcat('C:\Users\Usuario\Desktop\cafes\*.jpg', image_folder(i).name);
7      a=imread(f);
8      re=imresize(a,[227 227]);
9      path=strcat('C:\Users\Usuario\Desktop\cafes\*.jpg\cafes2', image_folder(i).name);
10     imwrite(re,path);
11 end
12
```

Figura 4 Algoritmo utilizado para la reducción de las dimensiones de las imágenes.

Se seleccionó la carpeta donde se encontraba la base de datos de las imágenes y se obtuvo su ubicación. Posteriormente se introdujo esa información en el algoritmo y con ello se logró que las imágenes de nuevas dimensiones se almacenaran dentro de las carpetas correspondientes.

Una vez obtenida la base de datos de las imágenes con las nuevas dimensiones, se realizó un análisis de los valores de los niveles de píxel, conocido también como segmentación de color.

Para ello, se utilizó la aplicación de MatLab® llamada *color thresholder*. Se seleccionaron al azar cinco imágenes de cada carpeta (de las dimensiones originales) y se fueron importando en la aplicación una por una para analizar qué canal de color era el más eficiente y con ello se pudiera separar el color de los limones del resto de la información de la imagen (Véase **Figura 5**). Esta elección se hizo de forma visual y se determinó que el mejor canal era el $L^*a^*b^*$, debido a que separa el detalle de las imágenes no tomando en cuenta la luminosidad (brillo) de estas (Véase **Figura 6**). Posteriormente se exportó la información a la plataforma (workspace) de MatLab®.

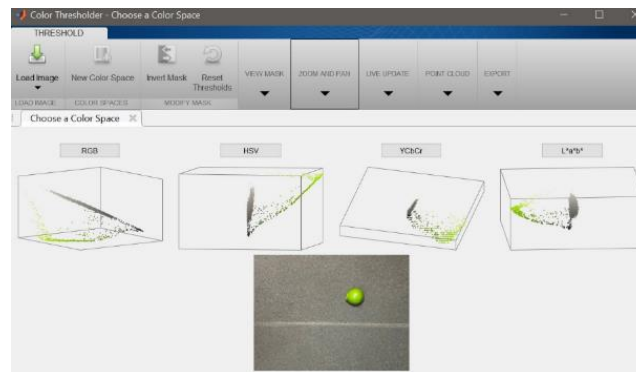


Figura 5 Color thresholder.

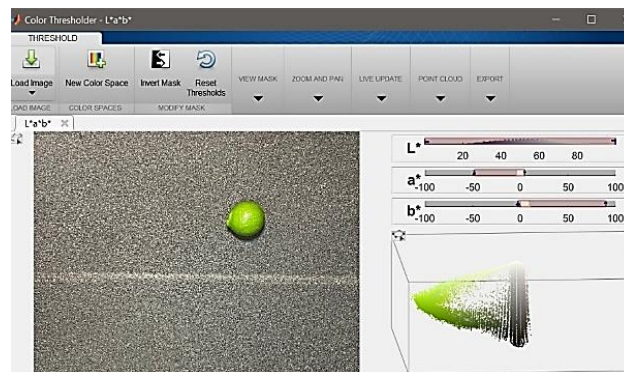


Figura 6 Canal $L^*a^*b^*$.

Después de elegir el canal de color, con la aplicación *image labeler* se procedió a etiquetar, de forma manual, cada una de las imágenes de la nueva base de datos (imágenes de 227x227 píxeles). Para ello, se importó la información de cada una de las tres carpetas de limones, y se realizó la selección del objetivo de la imagen (*ground through segmentation*) (Véase **Figura 7**). Una vez etiquetadas todas las imágenes, se exportó la información a la plataforma (*workspace*) de MatLab® para que durante el entrenamiento de la red se pudiera obtener la información de los recuadros (*labels*) que se hicieron manualmente.

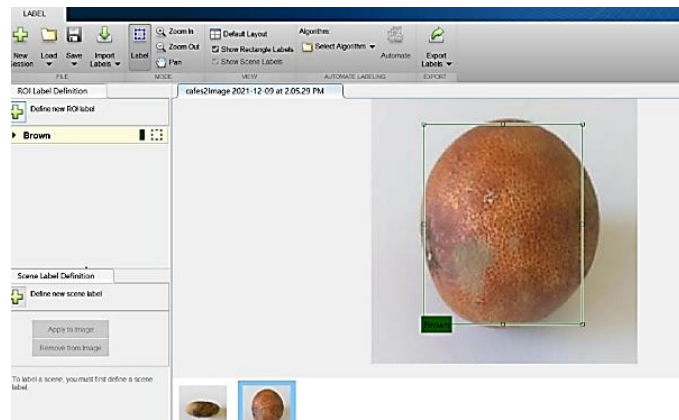


Figura 7 Etiquetado de imágenes (Image labeler).

Con la información de las etiquetas se pudo realizar el entrenamiento de la red. Para el entrenamiento de la red se utilizó un lote pequeño de imágenes etiquetadas (77 imágenes) con la finalidad de determinar si la red era eficiente o no. AlexNet es una red preentrenada con millones de imágenes, la cual requiere un lote pequeño para poder desarrollar un algoritmo y clasificar un nuevo elemento. Del lote empleado, el 80% de las imágenes se ocupó para el entrenamiento y el 20% para su validación, estos datos son especificados en las características de la red y llevados a cabo internamente durante el proceso de entrenamiento. El tiempo total de entrenamiento fue de 6 minutos y 42 segundos utilizando un equipo con una tarjeta gráfica Nvidia GTX1650 (GPU). El proceso de clasificación tardó un tiempo total de 1 minuto aproximadamente. Una vez especificadas las características del entrenamiento se corrieron las simulaciones pertinentes (Véase Figura 8).

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.

>> NetOrange1
.....
Training an R-CNN Object Detector for the following object classes:
* GoodQuality
--> Extracting region proposals from 77 training images...done.
--> Training a neural network to classify objects in training data...

Training on single GPU.
Initializing input data normalization.
-----
| Epoch | Iteration | Time Elapsed | Mini-batch | Mini-batch | Base Learning |
|        |           | (hh:mm:ss)  | Accuracy   | Loss        | Rate          |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 1 | 00:00:03 | 55.38% | 1.1260 | 0.0010 |
| 1 | 50 | 00:00:20 | 100.00% | 0.0007 | 0.0010 |
| 2 | 100 | 00:00:37 | 100.00% | 0.0115 | 0.0010 |
| 2 | 150 | 00:00:54 | 100.00% | 0.0004 | 0.0010 |
| 3 | 200 | 00:01:10 | 100.00% | 0.0153 | 0.0010 |
| 3 | 250 | 00:01:27 | 100.00% | 2.6276e-05 | 0.0010 |
| 4 | 300 | 00:01:44 | 100.00% | 0.0052 | 0.0010 |
| 4 | 350 | 00:02:00 | 100.00% | 5.8626e-05 | 0.0010 |
| 5 | 400 | 00:02:17 | 100.00% | 0.0001 | 0.0010 |
| 5 | 450 | 00:02:33 | 100.00% | 8.4918e-05 | 0.0010 |
| 6 | 500 | 00:02:51 | 100.00% | 0.0033 | 0.0010 |
| 6 | 550 | 00:03:07 | 100.00% | 0.0001 | 0.0010 |
| 7 | 600 | 00:03:24 | 100.00% | 2.7567e-07 | 0.0010 |
| 7 | 650 | 00:03:42 | 100.00% | 1.5312e-05 | 0.0010 |
| 8 | 700 | 00:03:59 | 100.00% | 2.4989e-05 | 0.0010 |
| 8 | 750 | 00:04:23 | 100.00% | 2.2677e-05 | 0.0010 |
| 9 | 800 | 00:05:00 | 100.00% | 6.3330e-07 | 0.0010 |
| 9 | 850 | 00:05:38 | 100.00% | 1.2815e-06 | 0.0010 |
| 10 | 900 | 00:06:16 | 100.00% | 0.0001 | 0.0010 |
| 10 | 950 | 00:06:42 | 100.00% | 0.0008 | 0.0010 |
-----

Network training complete.
--> Training bounding box regression models for each object class...100.00%...done.

Detector training complete.
.....
    
```

Figura 8 Entrenamiento de la red

Resultados y discusión

Al comprobar que la red neuronal era eficiente al 99.9%, se corrieron múltiples pruebas para corroborar la efectividad del algoritmo y así clasificar los limones de acuerdo con su calidad (buena calidad y mala calidad). Cabe mencionar que las imágenes para dicha actividad no fueron incluidas en el proceso de entrenamiento.

Para ello, se crearon cuatro carpetas nuevas para pruebas. En cada carpeta se colocaron imágenes aleatorias (de dimensiones originales) de limones en buen estado y mal estado. Asimismo, se crearon, dentro de cada carpeta, una subcarpeta con el nombre *Bad Quality Detected* en la que posteriormente se almacenarían las imágenes de los limones de mala calidad.

Se aplicó el algoritmo para poder filtrar, imagen por imagen, los limones y así identificar aquellos que no cumplieran con el nivel de color de buena calidad (Véase **Figura 9**). Se seleccionó la carpeta donde se encontraba la base de datos de las imágenes y se obtuvo su ubicación. Posteriormente se introdujo esa información en el algoritmo y con ello se logró que las imágenes se separaran en limones de buena calidad y limones de mala calidad y se almacenaran dentro de las carpetas correspondientes, los de buena calidad se quedaron almacenados en las carpetas de prueba y los de mala calidad en la carpeta *Bad Quality Detected* (Véase **Figura 10**, **Figura 11** y **Figura 12**).

```
Editor - C:\Users\Usuario\Downloads\SimulationTestLimes.m
ColorDetectionLimes.m x resize.m x Untitled* x SimulationTestLimes.m x +
%LOAD THE FILES FROM ORIGIN FOLDER (Folder Name)
image_folder=dir('D:\jesus\Desktop\Limes Analysis\New files\Evelyn\SIMULATIONS\Test4\*.jpg');

%process the images one by one with the next algorithm
for i =1:length(image_folder)
%LOAD THE FILES FROM ORIGIN FOLDER
f=strcat('D:\jesus\Desktop\Limes Analysis\New files\Evelyn\SIMULATIONS\Test4\', image_folder(i).name);

a=imread(f);
a2=imresize(a,[227 227]);

%APPLY TRESHOLD MASK
% Convert RGB image to chosen color space
I = rgb2lab(a2);

% Define thresholds for channel 1 based on histogram settings
channel1Min = 41.558;
channel1Max = 97.822;
% Define thresholds for channel 2 based on histogram settings
channel2Min = -39.612;
channel2Max = -13.893;
```

Figura 9 Algoritmo para la separación de limones.

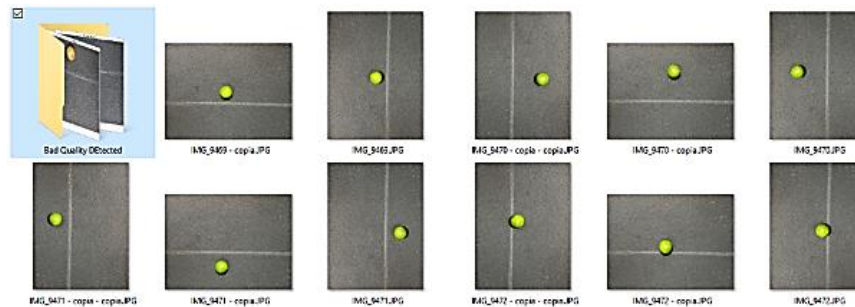


Figura 10 Carpeta de prueba de separación de limones

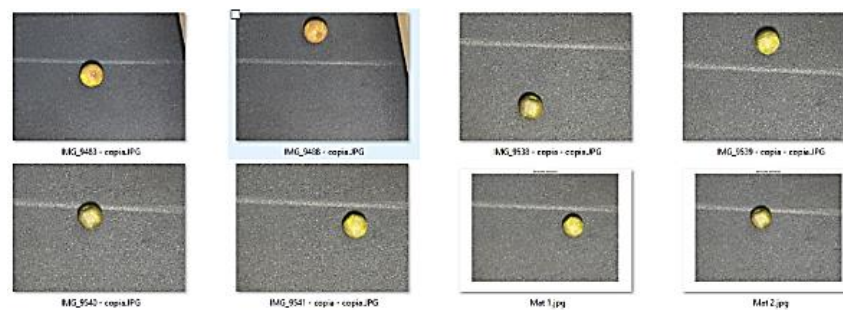


Figura 11 Carpeta Bad Quality Detected



Figura 12 Ejemplo de limón de mala calidad detectado

Para tener una referencia del correcto funcionamiento de la red, se realizó la clasificación de los limones de forma manual y se cuantificó el tiempo en el que se llevó a cabo dicha actividad, primero se separaron los limones de acuerdo a su color y se realizó una inspección visual para poder determinar si el limón cumplía con las características deseadas y decidir si era de buena o mala calidad. Debido a que se trataba de una gran cantidad de limones, este proceso resultó ser muy tedioso y tardado, trabajando un tiempo aproximado de 3 horas.

El tiempo de clasificación manual fue comparado con el tiempo que el algoritmo se tardó en realizar la clasificación y se obtuvo que el tiempo de clasificación se redujo de 3 horas a 7 minutos con 42 segundos (tomando en cuenta el tiempo en el que se llevó a cabo el entrenamiento de la red AlexNet).

Trabajo a futuro

La implementación que se puede aplicar como trabajo futuro podría ser la clasificación de limones de acuerdo con su tamaño (diámetro) y peso. Esto sería algo complejo, ya que se tendrían que involucrar nuevas tecnologías que permitan la identificación y procesamiento de datos cuantitativos y no solo cualitativos, para que en conjunto se pueda realizar una clasificación más completa. Además, se podría aplicar el algoritmo para el control de calidad de diferentes productos hortícolas en un proceso real, para lo cual se deberán incorporar equipos sofisticados que permitan la obtención de imágenes para su procesamiento y análisis.

Conclusiones

Existen diversas áreas en las que se aplica el tratamiento de imágenes. Este se basa en procesar señales, en su mayoría digitales, y realizar con ellas operaciones para obtener una imagen mejorada que permite una mejor interpretación. Las señales que se procesan también pueden ser analógicas u ópticas (captación de luz).

Hoy en día se utilizan diversas técnicas para analizar, manipular e interpretar imágenes, esto con la finalidad de cumplir ciertos objetivos. El ojo humano no es capaz de distinguir algunos detalles de los objetos, por lo cual el procesamiento de imágenes es una herramienta muy utilizada para obtener una imagen más visible y nítida de estos. [1]

Con el desarrollo del sistema, se pudo determinar, con una eficacia del 99.9%, la clasificación de la calidad de los limones. Debido a que se utilizó una base de datos relativamente pequeña, el sistema fue completamente eficaz, sin embargo, al utilizar una base de datos más extensa podrían presentarse fallas en su operación.

Se logró reducir la interacción humana en el control de calidad de los limones debido a que el sistema identifica y clasifica de manera autónoma los limones de buena y mala calidad.

Con este sistema se puede lograr optimizar tiempos y recursos en el control de calidad de los limones, así como incrementar la productividad de las organizaciones. Además, es posible que este sistema se pueda implementar en otras líneas de cualquier otro sector productivo.

La utilización de técnicas de Inteligencia Artificial, como lo es el tratamiento o procesamiento de imágenes, permite a las organizaciones estandarizar sus procesos productivos y logra reducir el error humano y la subjetividad en ellos.

Referencias

- [1] E. Ibarra, «Inteligencia Artificial 101,» 14 febrero 2015. [En línea]. Available: <https://inteligenciaartificial101.wordpress.com/page/2/>. [Último acceso: 13 agosto 2022].
- [2] R. Blanness Saumell, «Procesado de imagen con deep learning,» Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación, Madrid, 2020.
- [3] G. W. Carpio Cornejo, «Diseño y desarrollo de un sistema para automatizar el diagnóstico de narcolepsia tipo II mediante redes neuronales artificiales usando el registro polisomnográfico en un instituto del sueño,» Universidad Tecnológica de Perú, Lima , 2020.
- [4] J. Sánchez Juárez, M. Granados Baez, A. A. Aguilar Lasserre y J. Cardenas, «Automated system for the detection of 2D materials using digital image processing and deep learning,» *Optical Materials Express*, vol. Vol.12, n° No. 5, 2022.
- [5] C. Serrano Moreno, J. C. San Miguel Avedillo y J. M. Martínez Sánches, «Sistema para la detección precoz de cáncer de piel basado en tratamiento de imágenes,» Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2018.
- [6] Reportero industrial, «Reportero industrial,» 22 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.reporteroindustrial.com/temas/Procesamiento-de-imagenes,-control-de-calidad-en-la-era-40+131902>.
- [7] A. G. Díaz, «Visión y procesamiento de imágenes para el control de calidad,» *Universidad EAFIT*, pp. 47-64, 2012.
- [8] A. Jaramillo Ortiz, R. Jiménez M. y O. L. Ramos, «Inspección de calidad para un sistema de producción industrial basado en el procesamiento de imágenes,» *Tecnura*, pp. 76-90, 2014.
- [9] M. Paredes Forero y J. D. Henao Tovar, «Sistema de control de calidad por procesamiento de imágenes,» Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2016.
- [10] G. P. Córdova Jaramillo, «Control de calidad de cerámicos con procesamiento digital de imágenes para reducir costos,» Universidad Tecnológica del Perú, Lima, 2019.
- [11] J. Tort Guzmán, «Adquisición y procesamiento de imágenes para el control,» Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Villanueva y Geltrú, Villanueva y Geltrú, 2007.
- [12] R. Posada Gómez, I. González, Á. García, A. A. Aguilar Lasserre y A. Martínez Silbaja, «Toward an automatic parameterization system for the classification of persian lemons using image-processing techniques,» *Journal of Food Process Engineering*, 2014.
- [13] J. C. Romero Pabon, «Nueva técnica para comprobar la calidad del arroz fundamentada en el tratamiento de imágenes,» *Revista de Ciencias Humanas Y sociales- Universidad de Zulia*, pp. 462-487, 2017.
- [14] E. Cortés Pérez y S. Sánchez Sánchez , «Deep Learning Transfer with AlexNet for X-Ray COVID-19 Recognition,» *IEEE Latin America Transactions*, vol. Vol.19, pp. 944-951, 2021.
- [15] Secretaría de fomento agropecuario, «Estudio estadístico sobre producción de cítricos en Baja California,» Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable, 2010.
- [16] F. Fabricant, «The New York Times,» 22 Febrero 2011. [En línea]. Available: <https://www.nytimes.com/2011/02/23/dining/23limes.html>.

Diseño de una metodología para la distribución de áreas en un zoológico

J. Garnica González¹, S. B. Ramírez Reyna¹, H. Rivera Gómez^{1*}, R. Cadena Uribe¹, J. G. Licona Olmos¹

¹Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

* hector_rivera@uaeh.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

Todas las distribuciones en planta son diferentes, pero hay unas más peculiares que otras, debido a que no producen bienes, sino una experiencia como los zoológicos, que tienen la finalidad de conservación de la vida silvestre, investigar y estudiarla para mejorar su manejo y calidad de vida. Por lo que el problema a resolver es tener una distribución de sus áreas que cumplan con esta función. En este tenor, el objetivo de esta investigación de caso de estudio simple y holístico, es diseñar una metodología para tal fin. La metodología utilizada fue la revisión documental, consulta a expertos y construcción de la distribución de áreas. Los resultados son una distribución de animales con base a su hábitat, una matriz de convivencia, un diagrama de convivencia por ecosistemas y el layout integrador de las áreas. Se concluye que existe la oportunidad de aportar conocimiento en la temática de distribución de áreas.

Palabras clave: Distribución en planta, layout, jardín zoológico, planeación sistemática de planta

Abstract

All plant layouts are different, but there are some more peculiar than others, because they do not produce goods, but an experience like zoos, which have the purpose of conserving wildlife, researching and studying it to improve its management and quality of life. Therefore, the problem to be solved is to have a distribution of its areas that fulfill this function. In this sense, the objective of this simple and holistic case study research is to design a methodology for this purpose. The methodology used was documentary review, consultation with experts and construction of the distribution of areas. The results are a distribution of animals based on their habitat, a matrix of coexistence, a diagram of coexistence by ecosystems and the integrating layout of the areas. It is concluded that there is an opportunity to contribute knowledge on the subject of distribution of areas.

Key words: Plant distribution, layout, zoological garden, Systematic Layout Planning

Introducción

Tener una distribución de planta que sea segura para sus moradores, optimice todos los recursos materiales, disposición de equipos, recursos económicos, energía, información, tiempos, distancias y otros factores que se encuentren inmersos en la producción de un bien o el de prestar un servicio, es la ventaja competitiva de la organización en el sector de la industria de la transformación. Resultado de la planeación y utilización de métodos y metodologías para fundamentar el orden de la disposición de las áreas de trabajo. Así como de la maquinaria, equipo e instalaciones de servicios.

Por su parte la distribución de las áreas de un jardín zoológico tiene el compromiso de conservar la vida silvestre, realizar estudios para mejorar la crianza y fomentar el aprendizaje y manejo de animales en espacios de cautiverio, así como de garantizar no poner en riesgo los diversos ecosistemas que lo componen, producir la sensación de bienestar a los visitantes; al ser una alternativa de entretenimiento e impacto a largo plazo en las actitudes que se realicen en los diferentes espacios del zoológico [1]. En este tenor, no se identificó públicamente una metodología para la realización de un layout de un zoológico.

Por lo anterior, la presente investigación de estudio de caso, tipo de diseño de caso simple y holístico [2], tiene como objetivo, diseñar una metodología de distribución de áreas para la exhibición de especies animales en un jardín zoológico para la conservación de la vida silvestre, a través de contribuir al bienestar de las variedades de animales y por ende mejorar su calidad de vida y garantizar un entretenimiento al visitante.

Metodología

Este apartado tiene la finalidad de describir el diseño de la metodología para desarrollar la investigación y posteriormente dar cauce al punto de resultados y discusión.

Para realizar la distribución de las áreas del zoológico, se plantean tres etapas, en cada una de ellas se indica el método a utilizar o las acciones a realizar, así como el resultado. De forma sintética se ilustran en la Figura 1.

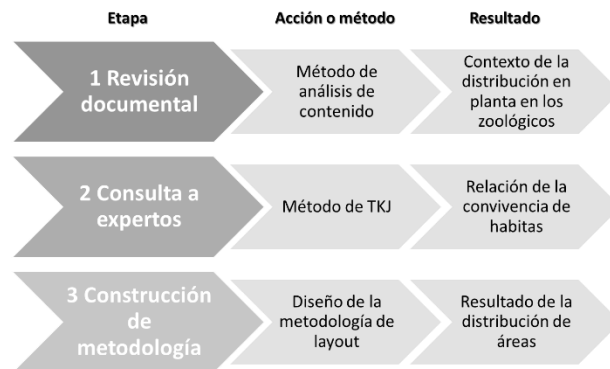


Figura 1. Metodología empleada.

Etapa 1 Revisión documental

En esta etapa inicial, se utilizó el método de análisis de contenido, que permite resultados de reproducibilidad a partir de realizar las fases mostradas y que se sintetizan en la Figura 2.

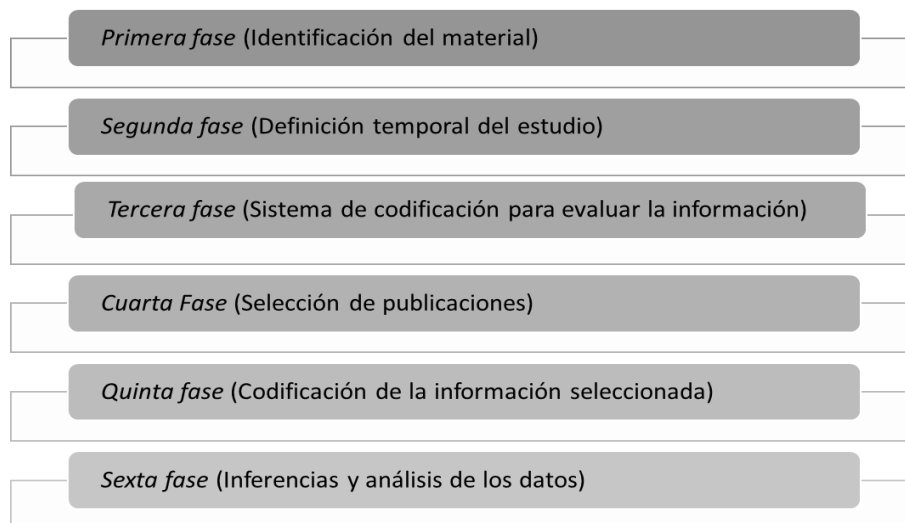


Figura 2. Método de Análisis de Contenido [3].

Etapa 2 Consulta a expertos

La consulta a expertos tiene la finalidad de obtener información específica del comportamiento de los animales en jardines zoológicos o espacios de cautiverio. Para tal fin, se seleccionó la técnica TKJ, porque su objetivo se basa en llegar a un consenso grupal a través de buscar una solución a un problema, estableciendo un fin o conjunto de objetivos en común, contar con participantes organizados de tal forma que permita tener una discusión abierta sobre los diferentes aspectos del problema a tratar. Por lo que TKJ es una opción viable para hacer la consulta a expertos [4] y se puede visualizar de forma sintética su procedimiento en la Figura 3.

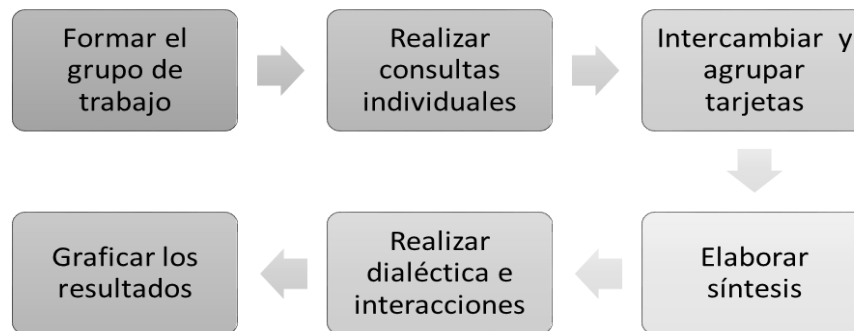


Figura 3. Proceso de la técnica participativa TKJ [4].

Etapa 3 Construcción de la metodología para la distribución de áreas en un zoológico

La conclusión de la metodología de trabajo, se realiza con la compilación de la información obtenida en las etapas anteriores, dando inicio al diseñar la propuesta para obtener la distribución en planta del jardín zoológico. Este procedimiento, se muestra en la Figura 4.

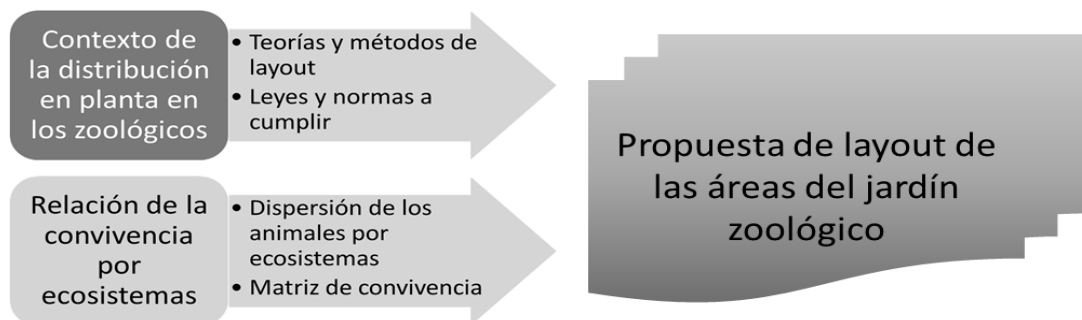


Figura 4. Metodología para la distribución de áreas en un zoológico.

Resultados y discusión

A partir del desarrollo de las diversas actividades indicadas en la metodología, se obtienen los siguientes resultados:

Etapa 1 Revisión documental

Con el apoyo de la herramienta contenida en la Biblioteca digital de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, llamada "Primo" y que es un metabuscador de fuentes de información en formato impreso o digital como son libros, videos, artículos, por nombrar algunos de ellos, se obtuvo lo siguiente:

Para el concepto de Distribución de planta, layout, metodologías o métodos, en primera instancia, se localizaron 2,104, artículos científicos, 52 periodísticos, 11 libros y 2 capítulos de libro. Posteriormente al aplicar el análisis de contenido, se obtuvieron 627 artículos, 3 artículos de periódico y dos libros con una antigüedad de 5 años. Sin embargo, sólo se identificó un artículo con la temática relacionada con la organización de las circulaciones en zoológicos [5] con una antigüedad de 12 años, al relacionar la distribución de planta con las áreas de un zoológico.

Por lo anterior, se discute que la distribución en planta no exclusivamente debe ser orientada a proceso de manufactura como se manifiesta en la literatura [6], [7], pero por otra parte, la metodología de SLP (Systematic Layout Planning) que se reporta desde su creación [8], hasta nuestros días [9], [10], [11], [12], con diferentes aplicaciones, se asevera que es una metodología de mayor utilidad en la resolución de problemas de layout, al considerar no solamente cuestiones cuantitativas, sino también los aspectos cualitativos como la relación entre áreas, ergonomía para los trabajadores, así como requerimientos especiales en los procesos y almacenes. Por lo que es un referente para generar o plantear innovaciones metodológicas para resolver problemas de distribución en planta, sobre todo de las no comunes o no convencionales.

Para el caso particular de la distribución de áreas de un zoológico, se tomará en cuenta el principio de relación entre áreas desde el punto de vista cualitativo.

Con relación a las distribuciones en jardines zoológicos, se obtuvo una referencia [5], donde su alcance es mostrar los tipos de circulación que existen en este tipo de espacios. Se plantea que la distribución espacial donde se ubiquen las especies a exhibir, se base en un hilo conductor que garantice continuidad a través de una estructura lógica y comprensible. Por lo que se recomienda que el acomodo de las zonas de exhibición de los animales, obedezca a las variables como paisaje bioclimático o biomas, hábitat de la especie y parentesco entre especies.

Por lo anterior, se tomará como referencia a considerar la organización con Jerarquía Loop Central, por permitir diseñar diferentes recorridos, así como ser práctico en zoológicos grandes y poder dispersar las zonas de exposición y a los visitantes [5].

Como parte sustantiva que norma el funcionamiento de un jardín zoológico se identificó que son principalmente la Legislación Federal integrada por:

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- Ley Orgánica de la Administración Pública Federal Ley de Planeación.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- Ley Federal de Derechos.
- Ley General de Vida Silvestre.

También juegan un papel importante para realizar una eficiente distribución de áreas, el apego a normas que regulan el buen funcionamiento dentro del zoológico, como:

- NOM-051-ZOO-1995: Trato humanitario en la movilización de animales.
- NOM-061-ZOO-1999: Especificaciones zoonosanitarias de los productos alimenticios para consumo animal.
- NOM-059-ZOO-1997: Salud animal. Especificaciones de productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos.
- NOM-054-ZOO-1996: Establecimiento de cuarentenas para animales
- NOM-045-ZOO-1995: Características zoonosanitarias para la operación de establecimientos donde se concentren animales para ferias, exposiciones, subastas, tianguis y eventos similares.

Etapa 2 Consulta a expertos

El objetivo de esta etapa fue construir la relación de especies de animales con la forma de convivencia, considerando los biomas, hábitat de la especie y parentesco entre especies.

El resultado obtenido es la propuesta de integrar 14 áreas conformadas por 54 especies animales. Se determinó considerar 6 climas, para relacionar con las diferentes áreas, dando como resultado 36 combinaciones, asociado a identificar el número de incidencias entre ellas. Destacando con mayor incidencia el clima denominado estepario. Los resultados obtenidos, se muestran en la Figura 5.

DISPERSION ANIMAL		ECOSISTEMA	
A	ÁFRICA	ANTÍLOPE ELAND	
		BORREGO BERBERISCO	
		CIERVO ROJO	
B	ÁFRICA SALVAJE	ANTÍLOPE DE AGUA	
		AVESTRUZ	
		ÓRIX CIMITARRA	
		VENADO	
C	AFRICANO-ÁRABE	CAMELLO ARÁBIGO	
		CONEJO	
		CUYO	
		HAMSTERS	
D	ASIÁTICA	CIERVO ROJO	
		BÚFALO ASIÁTICO	
		CABRA DE ANGORA	
		CAMELLO	
		PATO	
		ZORRILLO	
E	BAKULI	BORREGO MUFLON	
		ANTILOPE ELAND	
F	BOSTWANA	CEBRA	
		BURRO	
		CABALLO	
G	INTERNACIONAL	EMÚ	
		GAMO EUROPEO	
		GANSO DOMESTICO	
		HAMSTERS	
		PONY	
		ZORRILLO	
H	MOMBASSA	ANTÍLOPE DE AGUA	
		AVESTRUZ	
		CEBRA	
I	NORTEAMÉRICA	ARMADILLO	
		BORREGO MUFLON	
		CHIVO	
		COATÍ MARRÓN	
		GRISÓN	
		MAPACHE BOREAL	
		ZORRILLO	
J	SUDAMÉRICA A	CONEJO	
		GRISÓN	
		MAPACHE BOREAL	
		PATO REAL MEXICANO	
K	SUDAMÉRICA B	CIERVO AXIS	
		CAMALEÓN	
		LLAMA	
L	TANZANIA	ANTÍLOPE ELAND	
		CEBRA	
		ÑU AZUL	
M	UGANDA	ANTÍLOPE ELAND	
		ANTILOPE DE AGUA	
		AVESTRUZ	
N	VALLE TORTUGA	CAMALEÓN	
		IGUANA	
		TORTUGA DE TIERRA	

DISTRIBUCIÓN DE ECOSISTEMA			
CLIMA	SIMBOLOGÍA	No. DE ÁREAS	% DE CLIMA EN DISTRIBUCIÓN
ESTEPARIO		12	33%
DESÉRTICO		6	17%
LLANURA		7	19%
BOSQUE TROPICAL		4	11%
BOSQUE TEMPLADO		3	8%
MATORRAL		4	11%
COMBINACIONES TOTALES		36	100%

MAYOR INCIDENCIA	33%	ESTEPARIO
	19%	LLANURA
	17%	DESÉRTICO

Figura 5. Distribución de animales con base a su hábitat.

Obtenida la distribución de animales por hábitat, se procedió al diseño y construcción de una matriz cruzada de aportación de esta investigación para determinar la calidad de convivencia entre áreas. Por lo anterior, se tuvo que acordar una escala de valores para los tres tipos de convivencia existente entre las especies, proponiéndose 2 puntos para una buena convivencia, un punto para una regular convivencia y cero puntos para una mala

convivencia. Dando como resultado que el área con mayor porcentaje de convivencia es Bakuli con 14%, seguida por la de África con 10%. La matriz construida, se ilustra en la Figura 6.

MATRIZ DE CONVIVENCIA ANIMAL																	
		ÁFRICA	ÁFRICA SALVAJE	AFRICANO-ÁRABE	ASIÁTICA	BAKULI	BOTSWANA	INTERNACIONAL	MOMBASSA	NORTEAMÉRICA	SUDAMÉRICA A	SUDAMÉRICA B	TANZANIA	UGANDA	VALLE TORTUGA		
ÁREA	CLAVE	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	PUNTOS	CONVIVENCIA%
ÁFRICA	A	2	2	2	1	2	2	0	0	0	0	0	1	2	0	12	10%
ÁFRICA SALVAJE	B	2	0	0	2	2	2	0	1	0	0	0	2	0	0	11	9%
AFRICANO-Arabe	C	2	0	0	1	2	2	0	2	0	0	0	0	1	0	10	8%
ASIÁTICA	D	1	2	1	0	2	2	2	0	0	0	0	0	1	0	10	8%
BAKULI	E	2	2	2	1	0	0	0	2	2	2	2	0	2	0	17	14%
BOTSWANA	F	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	9	8%
INTERNACIONAL	G	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	6	5%
MOMBA SSA	H	0	1	2	0	2	0	0	0	0	1	2	0	0	0	8	7%
NORTEAMÉRICA	I	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	1	0	2	0	7	6%
SUDAMÉRICA A	J	0	0	0	0	2	0	0	1	2	0	2	0	0	0	7	6%
SUDAMÉRICA B	K	0	0	0	0	2	0	0	2	1	2	0	0	0	0	7	6%
TANZANIA	L	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3%
UGANDA	M	2	0	1	1	2	1	2	0	2	0	0	0	0	0	11	9%
VALLE TORTUGA	N	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	2%
	Σ	12	11	10	10	17	9	6	8	7	7	7	3	11	2	120	100%

VALOR DE CONVIVENCIA	
BUENA	2
REGULAR	1
MAL	0

ÁREAS CON MAYOR CONVIVENCIA	
%	SECCIÓN
14%	BAKULI
10%	ÁFRICA

Figura 6. Matriz cruzada para determinar la relación de convivencia por sección (elaboración propia).

Etap 3 Construcción de la metodología para la distribución de áreas en un zoológico

La integración de los resultados previos en las etapas 1 y 2, conllevan a los siguientes resultados.

La base para llegar a la propuesta del mapa de la distribución de áreas, primero se debe generar el diagrama de distribución por convivencia y ecosistemas. Para ello, se parte de ir acomodando por pares, un arreglo matricial con un ordenamiento basado en las restricciones de área de pertenencia por hábitat y porcentaje de convivencia, preferentemente de mayor a menor. Se recomienda tomar como pivotes centrales las áreas de mayor convivencia. Por lo que, para este caso, se agrupan por conveniencia en A-E, B-M, C-D-F, H, G-I-J-K y L-M, dando como resultado 6 grupos. Con estos grupos, se realizarán arreglos de combinaciones por pares, por lo que se obtienen 21 arreglos como los que se muestran en la Figura 7.

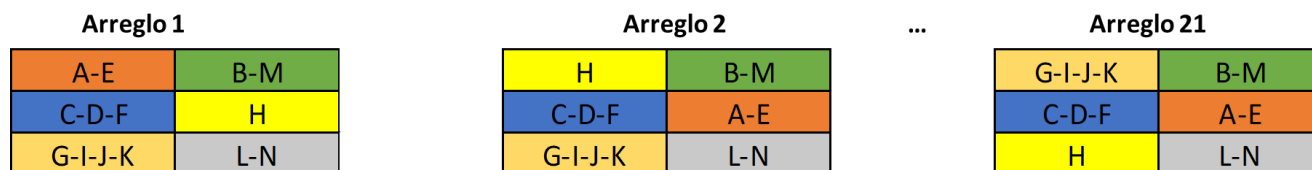


Figura 7. Ejemplos de representación de arreglos por bloques.

Posteriormente se analizan cada uno de ellos para verificar si cumple con las restricciones y se selecciona el que cumpla con las condicionantes. Para que posteriormente, el arreglo seleccionado se desglose por cada grupo y verificando que siga cumpliendo con las restricciones de buena, regular o mala convivencia, se apruebe el arreglo resultante. Por lo que, en este caso, el arreglo 21 al ser desglosado y verificar el cumplimiento de restricciones,

da como resultado el que se muestra en la Figura 8. Posteriormente, se generará el diagrama de relaciones por convivencia y ecosistemas para verificar visualmente si el arreglo cumple con las restricciones de convivencia.

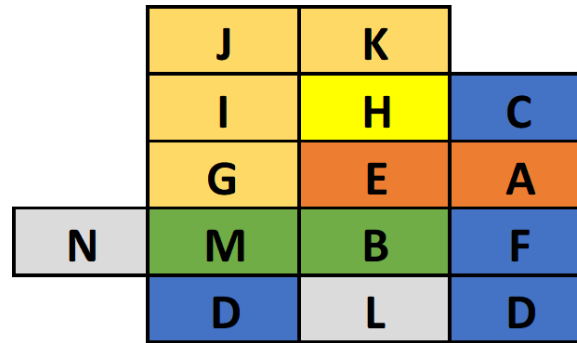


Figura 8. Arreglo de bloques resultante del desglose de las áreas y sus relaciones.

En comparación con un diagrama de hilos, utilizado para visualizar la relación entre los departamentos en una planta de manufactura, aquí se construye un diagrama de relación de convivencia, dando como resultado el que se muestra en la Figura 9. Donde se identifica que los resultados obtenidos en el arreglo de la Figura 8, determinan que la sección de Bakuli y África, es el eje central o pivote para determinar el diagrama de distribución de los animales por conveniencia y ecosistema.

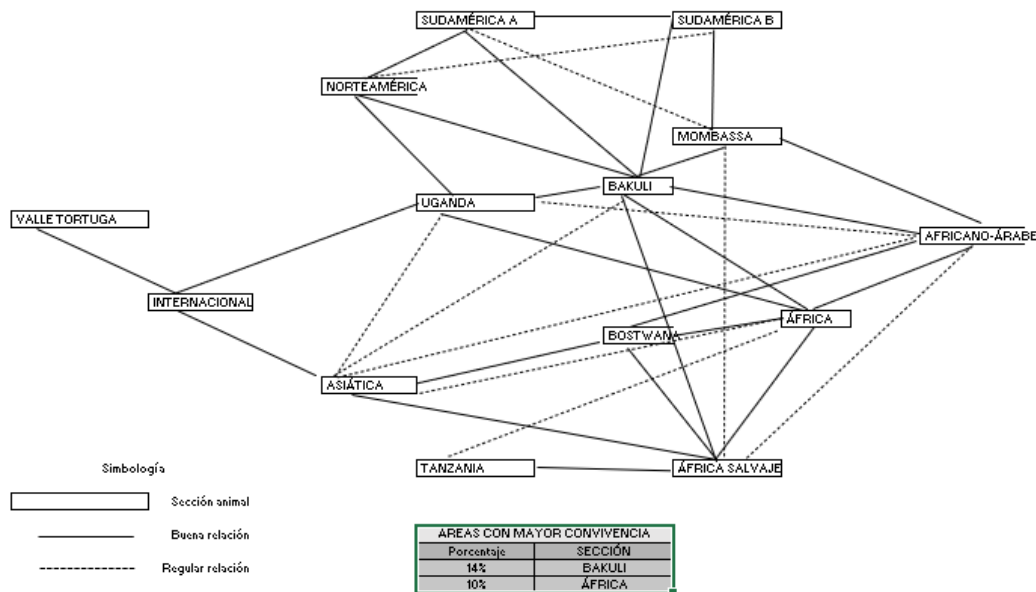


Figura 9. Diagrama de distribución por convivencia y ecosistemas.

Con base al arreglo de bloques resultante del desglose de las áreas y sus relaciones, la sección de mayor porcentaje de convivencia por bloques ilustrado en la Figura 8, más la información de la Etapa 1 y teniendo como base el predio localizado en el estudio de localización, donde se indican los niveles del terreno, se propone la distribución de las 14 secciones mostradas en la Figura 10. Mientras que en la Figura 11, se muestran los caminos de recorrido y la ubicación de espejos de agua como parte del paisaje que haga más atractivo el jardín. Posteriormente en la Figura 12, se ilustran las áreas de cada sección, esto tomando como base la cantidad de animales y el territorio que ocupan para su desarrollo y convivencia, aunado con el recorrido por todas las secciones. Cabe hacer mención que se aplica la organización con Jerarquía Loop Central [5].

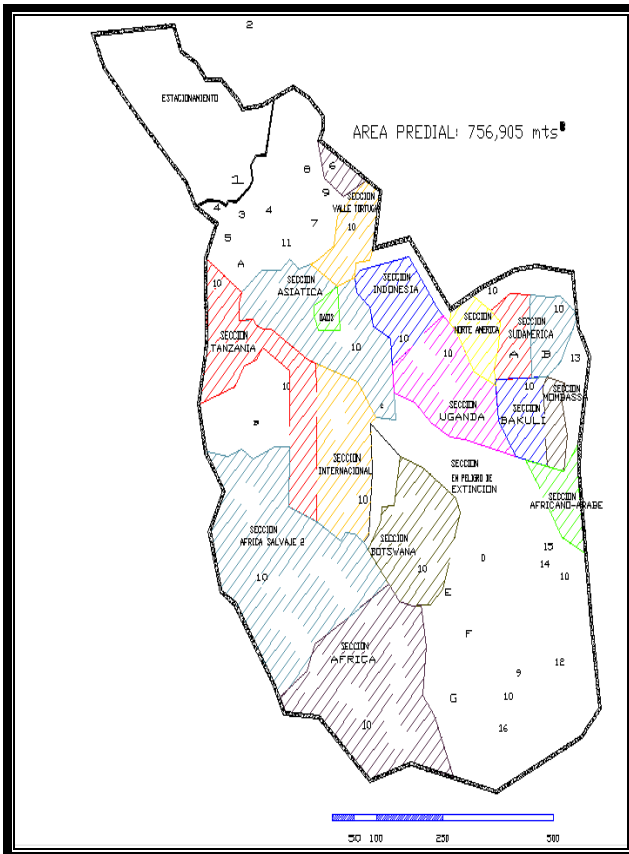


Figura 10. Distribución de las áreas por sección del zoológico.

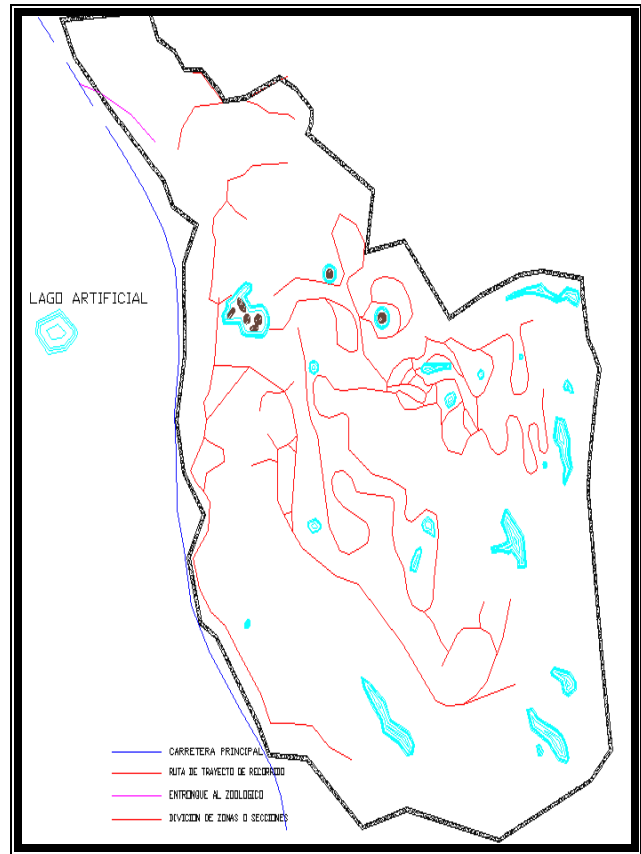


Figura 11. Distribución de las rutas para observar las secciones del zoológico.

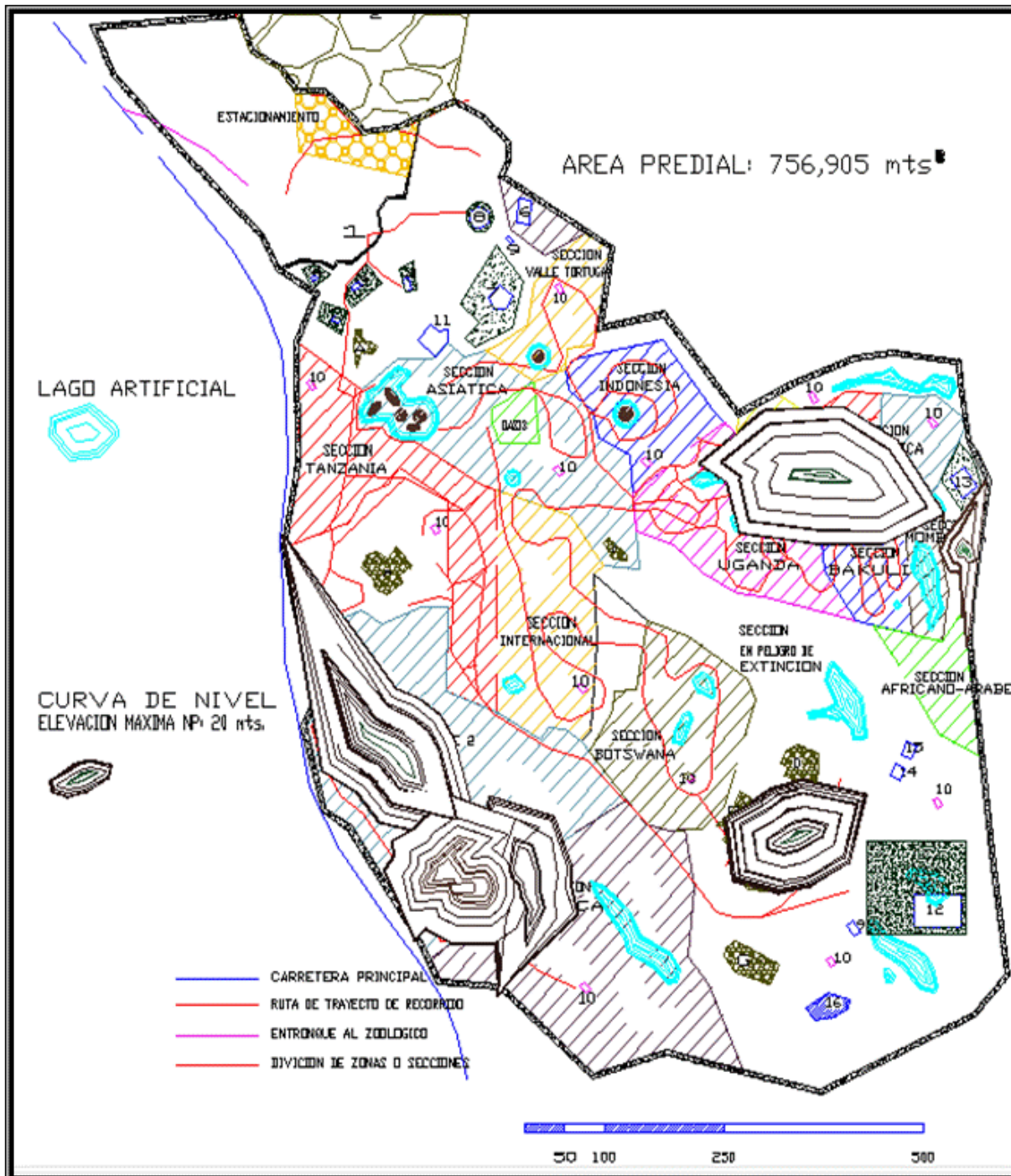


Figura 12. Layout integrando las 14 secciones y el recorrido por el jardín zoológico.

Con el conjunto de imágenes mostradas en las Figuras 9 a 12, se verifica que el planteamiento de la metodología, da resultados a los problemas no convencionales de distribución de planta. Teniendo como respaldo para verificar la factibilidad y viabilidad de realizarse, el conjunto de arreglos pareados donde se coteja el cumplimiento de las restricciones en la organización de áreas.

Trabajo a futuro

Los trabajos por realizar son en dos vertientes, la primera que está relacionada con la etapa de realizar la propuesta de simular los comportamientos de las diferentes especies para comprobar que se está proponiendo

un layout adecuado a cumplir con la finalidad del jardín zoológico. Para ello es necesario recurrir al diseño y desarrollo de un algoritmo que facilite la generación de los arreglos pareados y se ahorre tiempo en la generación manual. En otro tenor, al comprobar e ir mejorando la metodología, se vislumbra complementarla con la integración de la realización del presupuesto de las obras para comprobar a través de la evaluación económica y financiera la factibilidad de realizarla.

Conclusiones

Al plantear el objetivo de diseñar una metodología capaz de dar respuesta a la organización de áreas de espacios para la exhibición bajo la buena convivencia entre especies de diversos animales, se tiene que si es posible con una adecuada metodología de investigación. En este caso, la revisión documental, permitió tener la información necesaria para poseer un panorama sistémico del problema a resolver, dando la pauta en puntos esenciales para consultar en un segundo momento a experto del tema.

La contribución que se consigue con la aplicación de la técnica TKJ, al organizar de forma eficiente la participación de los expertos, permitió la generación de tres instrumentos que son utilizados en la aplicación de la metodología diseñada para resolver problemas de distribución de plantas no manufactureras. Por lo que el instrumento de distribución de animales con base a su hábitat, la matriz de convivencia y el diagrama de convivencia por ecosistemas, facilitaron la integración y diseño de la propuesta del layout de las zonas del jardín zoológico.

Por lo anterior, se identifica una beta de oportunidades para ampliar el conocimiento en relación a la distribución de áreas de convivencia de especies y el conjunto de variables que intervienen en sus hábitats. Invitando a mejorar este tipo de metodologías heurísticas.

Referencias

- [1] I. Escobar-Ibarra, D. Mota-Rojas, F. Gual-Sill, C. R. Sánchez, CR, F. Baschetto y M. Alonso-Spilsbury, "Conservation, animal behaviour, and human-animal relationship in zoos. Why is animal welfare so important?". *J Anim Behav Biometeorol*, vol. 9, nº 2, pág. 0-0, 2020.
- [2] A. M. Enrique, y E. Barrio, "Guía para implementar el método de estudio de caso en proyectos de investigación", *Propuestas de investigación en áreas de vanguardia*, 159-168, 2018.
- [3] R. Hernández-Sampieri, y C. Mendoza, "Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta", México, Editorial Mc Graw Hill Education, 2018.
- [4] J. Garnica, "Modelo sistémico para la innovación producto-tecnología en las pequeñas y medianas empresas", Tesis de doctorado, UAPEP, México, 2012.
- [5] G. Collados, "Organización de circulaciones en zoológicos", *ZooLex Organización de diseño de zoológicos*, https://zoolex.org/media/uploads/2018/07/30/collados_organizacion_circulaciones.pdf. 2004.
- [6] C. Pantoja, J. P. Orejuela, and J. J. Bravo, "Metodología de distribución de plantas en ambientes de agrupación celular," *Estud. Gerenciales*, vol. 33, no. 143, pp. 132–140, Apr. 2017.
- [7] R. D. Buitrago-Pulido, "Análisis bibliométrico sobre la producción científica en distribución en planta en la red Redalyc durante el periodo 2007 – 2017", *Scientia Et Technica*, 24 (3),446-450, 2019.
- [8] R. Muther, "Distribución en planta", Barcelona, Editorial Hispano Europea, 1981.
- [9] O. V. Potadar, G. S. Kadam, H. Vasudevan, V. Kottur y A. Raina, "Development of Facility Layout for MediumScale Industry Using Systematic Layout Planning", en *Proceedings of International Conference on Intelligent Manufacturing and Automation*, noviembre 2018.
- [10] B. Suhardi, E. Juwita y R. D. Astuti, "Facility layout improvement in sewing department with Systematic Layout planning and ergonomics approach," *Cogent Engineering*, vol. 6, n.º 1, 2019.
- [11] K. J. Torres Soto, C. W. Sánchez, N. M. Castañeda, y L. S. Flórez, "Metodología SLP para la Distribución en Planta de Empresas Productoras de Guadua Laminada Encolada (GLG)". *Ingeniería*, vol. 25, núm. 2, págs. 103-116, 2020.
- [12] A. P. Lista, G. L. Tortorella, Mostafa, S. David y M. Bouzon, "Lean layout design: un caso de estudio aplicado a la industria textil". *Producción*, vol. 31, núm. 1, pp.1-16, 2021.

Análisis del nivel de reacción de empresas de la Comarca Lagunera ante una crisis sanitaria

E.R. Pineda Armendáriz^{1*}, F.A. Poblano Ojinaga², E.R. Poblano Ojinaga³, A.E. Poblano Ojinaga⁴,
F.G. Alday Luna⁵

^{1,2,5} Departamento I.I. I.T. La Laguna, ⁴ Departamento E.A. I.T. La Laguna
³DEPI, IT Cd. Juárez

*rosy.pineda5@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Administrativa

Resumen

El propósito de este estudio es analizar la capacidad que las organizaciones de la región tienen de afrontar eventos inesperados y/o inevitables y de importancia que generan crisis y lograr recuperarse adaptándose a la "nueva normalidad". Este proyecto investiga factores que intervienen en crisis empresariales, tipos de respuesta y factores que afectan y limitan el desarrollo de las empresas de la comarca lagunera en su entorno. Fueron realizadas 69 encuestas a empresarios y personal administrativo. Se observan varios factores como perfil de capacidad interna, perfil de oportunidades y amenazas, identificación de escenarios de riesgo, nivel de exposición al riesgo y nivel de reacción de la organización ante una crisis, que marcan áreas de oportunidad para asegurar el futuro empresarial. Es importante para las empresas estar preparados con un plan de gestión de crisis que les permita elevar la velocidad de respuesta a las mismas, evitando el punto de no retorno.

Palabras clave: Crisis, Continuidad operativa, Velocidad de respuesta, Gestión de crisis.

Abstract

The purpose of this study is to analyze the capacity that organizations have to face unexpected and / or inevitable and important events that generate crises and to recover by adapting to the "new normal". This project investigates factors that intervene in business crises, types of response and factors that affect and limit the development of companies in the Lagunera region in their environment. 69 surveys were conducted with employers and administrative staff. Several elements are observed such as internal capacity profile, profile of opportunities and threats, Identification of risk scenarios, level of risk exposure and level of reaction of the organization to a crisis, which mark areas of opportunity to ensure the future of the business. It is important for companies to be prepared with a crisis management plan that allows them to increase the speed of response to them, avoiding the point of no return.

Key words: Crisis, Operational continuity, Speed of response, Crisis management.

Introducción

La crisis aplicada al entorno empresarial, se refiere a un acontecimiento que puede ocasionar resultados negativos. Sin embargo, hay empresas que, cuando realizan un buen manejo de la misma, logran convertirla en una oportunidad de mejora. Es considerada una situación que crea inestabilidad en la empresa, son tan repentinas, vulneran a la empresa, o en algunos casos la expone a peligro [1].

Existen varias definiciones de crisis, así como, tipos, categorías, clasificaciones y fases, y en cada una de ellas, algunos autores aportan un nuevo punto de vista, tal como se muestra en la tabla 1, en

el que se hace una comparación a partir de los aportes de Pearson y Mitroff (1993); Westphalen y Piñuel (1993); y, González (2008) [2].

Tabla 1. Tipos de crisis según sus categorías, clasificación y fases

Categorías	Clasificación	Fases
Niveles de afectados	Global; Internacional Nacional, Regional y Local	Nacimiento; desarrollo; madurez y declive
Posibilidades de intervención de la organización	Crisis evitables; Crisis no evitables; Crisis accidentales u operativa	Detección de señales; Preparación y prevención; Contención de daños; Recuperación y aprendizaje
Naturaleza y magnitud	Objetivos; Técnicos/Políticos; Exógenos/Endógenos	
Naturaleza de los acontecimientos		Preliminar; Aguda; Crónica; Postraumática

Elaboración propia, 2020, a partir de los aportes de Pearson y Mitroff (1993); Westphalen y Piñuel (1993); y, González (2008). <https://www.redalyc.org/journal/280/28069360008/html/>

El concepto de crisis, la Norma ISO:22301 lo define como: “una situación con un alto nivel de incertidumbre que afecta las actividades básicas y/o la credibilidad de la organización y requiere medidas urgentes”. Las crisis están generadas por todos aquellos eventos inesperados y/o inevitables de carácter catastrófico que pueden afectar a los activos críticos, la estructura financiera, las personas e incluso la reputación, poniendo en peligro la propia supervivencia de la compañía, y que, siendo verdaderas, no siempre suponen la activación de un plan de continuidad de negocio. [3].

La ISO 22301:2019 es la última versión de la norma internacional para sistemas de gestión de la continuidad de negocio y proporciona un marco de buenas prácticas para ayudar a las organizaciones a gestionar eficazmente el impacto de una interrupción en su funcionamiento. La capacidad de una empresa para gestionar eventos es fundamental para su supervivencia. La variedad de amenazas que pueden causar interrupciones comerciales es cada vez mayor. Desde ciberataques y pandemias globales hasta desastres naturales, una organización necesita un conjunto de herramientas para administrarse a sí misma en tiempos de incertidumbre. [4].

Un manual de crisis es la hoja de ruta clave para la gestión de la comunicación con metodología, rigor y profesionalidad, ya que contiene las indicaciones necesarias y procedimientos recomendados a seguir a la hora de enfrentarse a situaciones problemáticas, llamadas ‘de crisis’. Lo habitual es que las crisis aparezcan sin previo aviso y con escaso margen de maniobra para actuar [5]. Antes, durante y después de la pandemia las organizaciones en México y en el Mundo han tenido que sobrellevar una escalada de crisis económicas, sociales, emocionales acompañadas de la infodemia, que se fueron presentando paulatinamente y que la mayoría de las empresas no estaban preparadas para afrontar ya que el nivel de riesgo nunca fue considerado en su planeación estratégica. El primer paso es que la empresa sea consciente de los cambios acelerados del entorno y mantenga protocolos establecidos para atender contingencias, principalmente en lo que concierne a información y comunicación.

Metodología

La metodología es de tipo exploratorio cualitativo interpretativo. El diseño de la investigación fue de tipo no experimental, transversal, y descriptivo [6], porque se observan los fenómenos tal y como ocurren naturalmente, no se interviene en su proceso; y se realiza una recolección de datos en un solo corte en el tiempo, a través de una encuesta aplicada a las empresas socias de Canacintra, Gómez Palacio, con el propósito de estudiar varios factores que intervienen durante una crisis y que generan diversos eventos de carácter económico, social, salud física y emocional y el factor de la infodemia que afecta a los actores en el entorno de las empresas. El estudio se apoyó en una encuesta realizada a empresarios y personal administrativo de 25 empresas laguneras, en la cual se valoraron los 5 componentes básicos para la implementación de un manual de gestión de crisis

considerando los eventos y protocolos nacionales e internacionales postpandemia del 2021. Las empresas están ubicadas dentro de la Comarca Lagunera que abarca 5 municipios de Coahuila y 11 municipios de Durango.

- a. Perfil de capacidad interna
- b. Perfil de oportunidades y amenazas
- c. Identificación de escenarios de riesgo
- d. Salud: nivel de exposición al riesgo
- e. Auto-diagnóstico del nivel de reacción de la organización ante una crisis

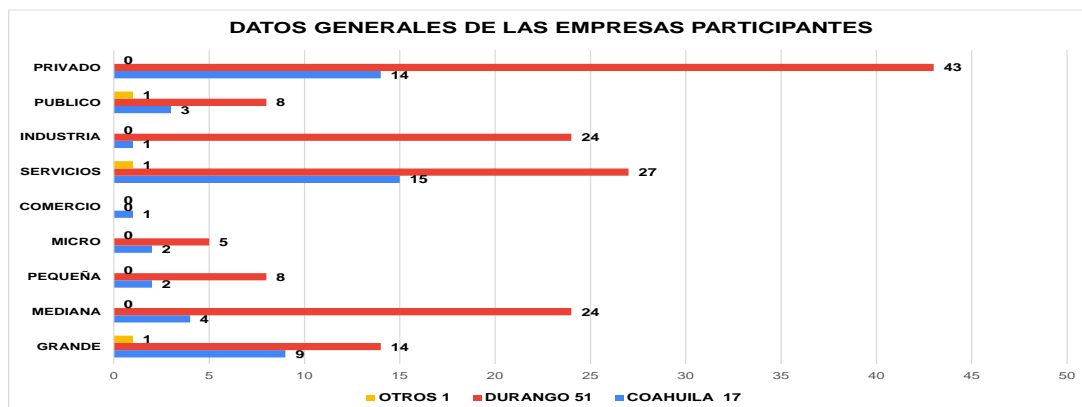
Desarrollo

A través de Canacintrá, Gómez Palacio, se hizo una invitación a las empresas socias de la cámara para asistir a la presentación del Modelo Nacional para la Transformación Organizacional que se aplica como base del Premio Región Lagunera hacia la Calidad en su edición 2022 y en el cual, a las empresas participantes se les invita a contestar el formulario que permite realizar un diagnóstico situacional sobre recursos y capacidades, amenazas y oportunidades y velocidad en gestión de crisis. La expectativa es generar interés en las empresas por mejorar su desempeño y competitividad a través de una metodología como es el Modelo Nacional para la Transformación Organizacional que promueve el Instituto para el Fomento a la Calidad y que es base para evaluar a las empresas que participan en el Premio Nacional de Calidad, el cual aplica un diagnóstico estratégico situacional y contrasta los resultados contra el patrón de excelencia que es el Modelo mencionado. Esta metodología se replica en el evento anual organizado por Canacintrá, Gómez Palacio a través de una capacitación previa, una evaluación documental y otra de campo que permite valorar cualitativa y cuantitativamente a la organización en los elementos estratégicos declarados en el Modelo. El Premio Nacional de Calidad tiene 32 años aplicando esta metodología y el Premio Región Lagunera hacia la Calidad tiene 22 años replicando el modelo para las empresas de la Comarca Lagunera. En esta ocasión se anexaron al autodiagnóstico los temas de gestión de crisis.

Tabla 2.- Datos generales de las organizaciones participantes

		TAMAÑO DE LAS EMPRESAS				SECTOR			CAPITAL	
		GRANDE	MEDIANA	PEQUEÑA	MICRO	COMERCIO	SERVICIOS	INDUSTRIA	PUBLICO	PRIVADO
COAHUILA	17	9	4	2	2	1	15	1	3	14
DURANGO	51	14	24	8	5	0	27	24	8	43
OTROS	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0
TOTAL	69	24	28	10	7	1	43	25	12	57

En la Tabla 2, se presentan los datos generales de las organizaciones a las que pertenecen las personas encuestadas.



Gráfica 1. Datos generales de las 69 empresas participantes en el Autodiagnóstico

En la Gráfica 1, se observa que hay una mayor participación de empresas de Durango con un 74%, un 24.5% de Coahuila y solo una de Chihuahua representando el 1.5% del total de empresas encuestadas. De acuerdo a su tamaño, el 35% son grandes, el 40% son medianas, el 14.5% son pequeñas y el 10.5% son microempresas. De acuerdo al sector, el 36.2% son industriales, el 62.3% son de servicios y 1.5% son de comercio. Considerando su tipo de capital participaron el 82.6% del sector privado y el 17.4% del sector público.

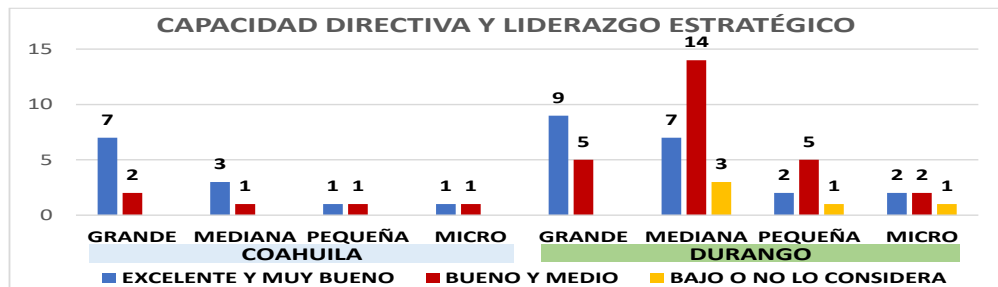
Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados que se obtuvieron después de llevar a cabo las encuestas y el análisis de las respuestas agrupando los datos por estado y por tamaño de empresa:

- Para el tema de perfil de capacidad interna se identificaron fortalezas y debilidades, a través del análisis de los siguientes factores internos: Capacidad directiva y Liderazgo Estratégico, capacidad competitiva, financiera, tecnológica y talento humano. En estos esquemas se observa optimismo de las empresas pues se autoevalúan en los rangos de excelente y muy bueno principalmente las empresas grandes, en las medianas, pequeñas y micro se autoevalúan en su mayoría en los rangos bueno y medio ya que 12 encuestas de Coahuila y 20 de Durango así lo manifestaron.

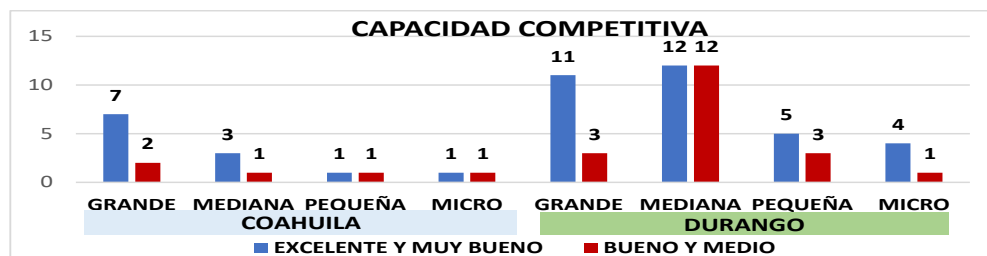
En los temas de sistemas de control eficaces, control de costos, competencia e innovación se observan debilidades en la mayoría de las respuestas de esta categoría. El rubro que más bajo fue autoevaluado fue el de Talento humano, observando mayores debilidades en temas de rotación, ausentismo y motivación ya que solo 4 encuestas de Coahuila y 14 de Durango del total de 69 manifestaron su autoevaluación como excelente y muy bueno, el resto evaluaron en bueno y medio o bajo.

- Capacidad Directiva y liderazgo estratégico de las empresas de Coahuila y Durango considerando el tamaño de la empresa



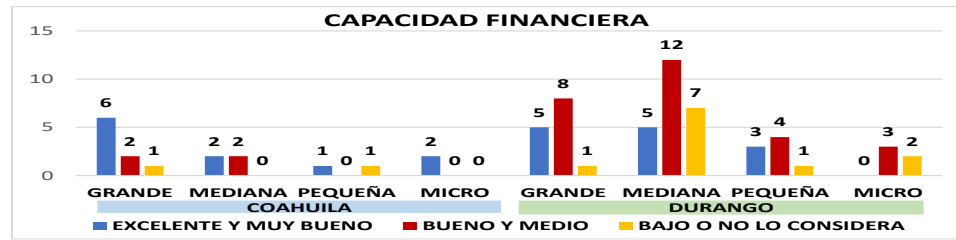
Gráfica 2. Capacidad directiva empresas de Coahuila y Durango

- Capacidad Competitiva de las empresas de Coahuila y Durango considerando el tamaño de la empresa



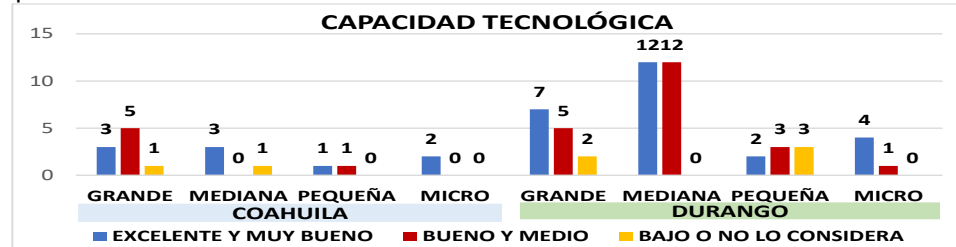
Gráfica 3. Capacidad Competitiva empresas de Coahuila y Durango

- Capacidad Financiera de las empresas de Coahuila y Durango considerando el tamaño de la empresa



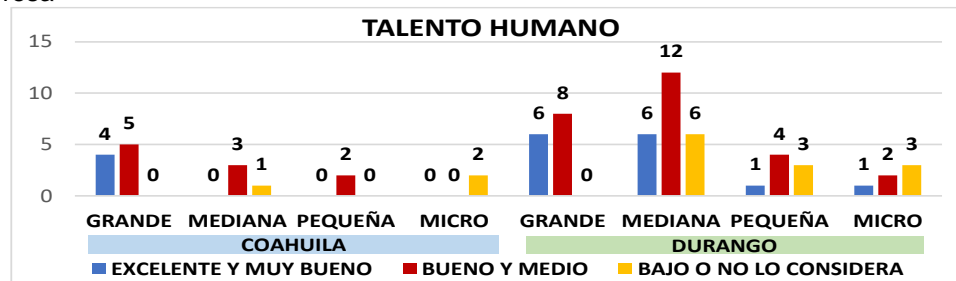
Gráfica 4. Capacidad Financiera empresas de Coahuila y Durango

4. Capacidad Tecnológica de las empresas de Coahuila y Durango considerando el tamaño de la empresa



Gráfica 5. Capacidad Tecnológica empresas de Coahuila y Durango

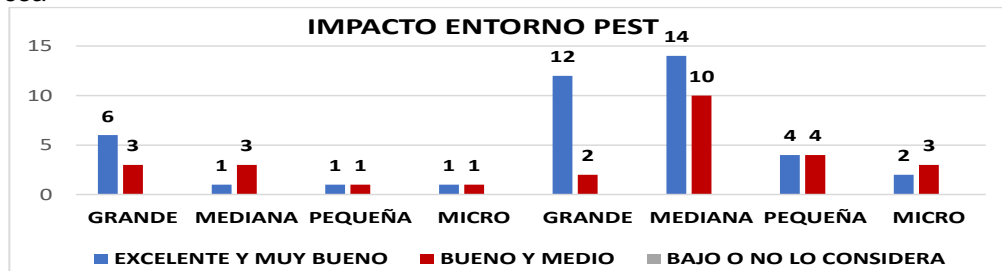
5. Talento Humano en las empresas de Coahuila y Durango considerando el tamaño de la empresa



Gráfica 6. Talento Humano empresas de Coahuila y Durango

- b. Para el tema de perfil de amenazas y oportunidades se analizaron los factores económicos, políticos, sociales, tecnológicos, competitivos y riesgos actuales del entorno. En las respuestas se observa en la mayoría de los factores económicos, políticos y sociales impactos muy altos y altos como consecuencia se vislumbran mayores amenazas en esos temas. Y en los factores tecnológicos y competitivos se presentan mayoría de respuestas asociadas a niveles de impacto altos y medios, que también reflejan amenazas, pero se perciben en menor cantidad de impacto.

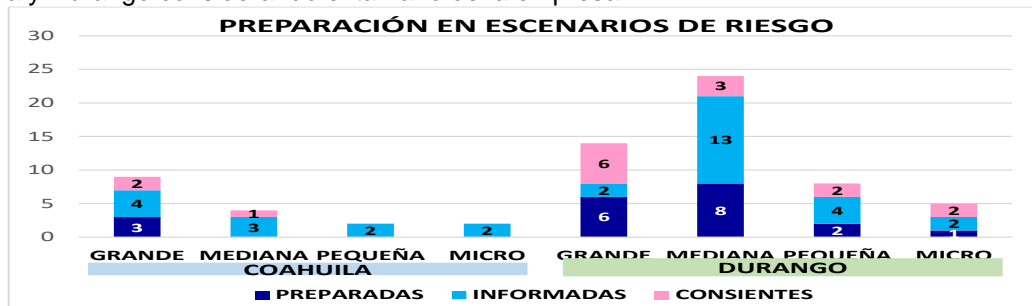
6. Niveles de percepción de impacto de los factores Políticos, Económicos, Sociales, Tecnológicos, y Competitivos (PEST) en las empresas de Coahuila y Durango considerando el tamaño de la empresa



Gráfica 7. Entorno PEST empresas de Coahuila y Durango

- c. Para el tema de escenarios de riesgos se analizaron los temas de salud, derechos humanos, empleo, riesgos estratégicos, financieros, y del entorno. En el tema de identificación del riesgo, las encuestas manifiestan en un promedio de más del 50% (36) estar conscientes e informados sobre los escenarios de riesgos, pero en casi todos los elementos analizados menos del 30% (20) de las personas encuestadas se califican como preparadas para enfrentar el riesgo. Y en la evaluación específica de tipo de preparación se califican como mediana y buena preparación en su mayoría, y esto puede deberse a acciones postpandemia del 2021 en base a los protocolos aplicados a nivel internacional y nacional.

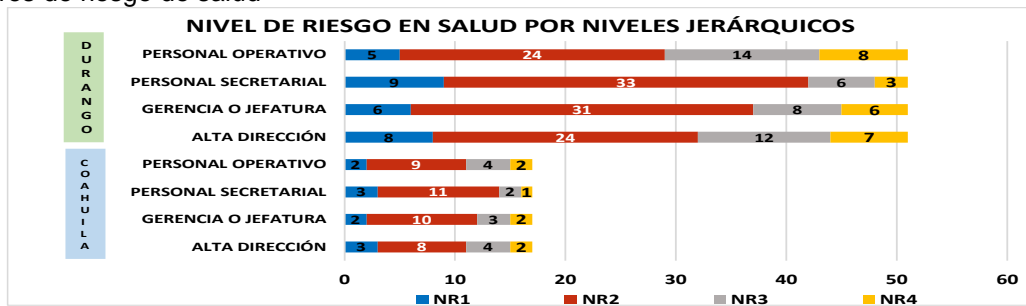
7. Niveles de percepción de preparación para atender escenarios de riesgo en las empresas de Coahuila y Durango considerando el tamaño de la empresa.



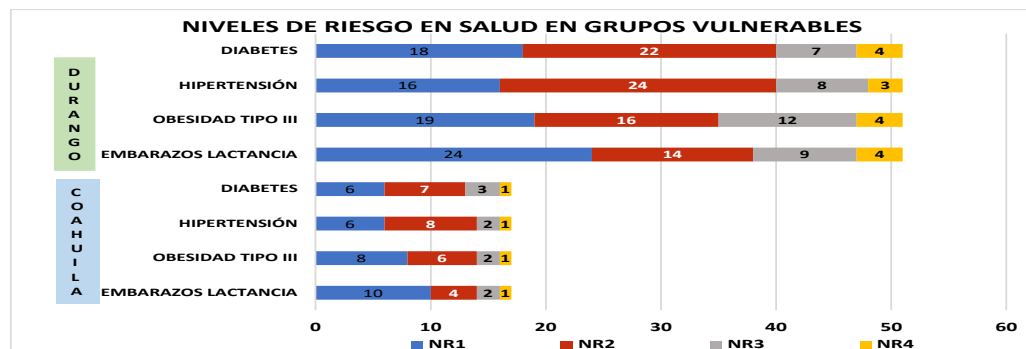
Gráfica 8. Preparación en escenarios de riesgo en empresas de Coahuila y Durango

- d. Para el tema de salud específicamente en temas de pandemia se identificaron los niveles de exposición al riesgo de acuerdo a la siguiente clasificación: Nivel de Riesgo 4 (Alto): Trabajo constantemente fuera de instalaciones, Nivel de Riesgo 3 (Alto): Trabajo eventualmente fuera de instalaciones, Nivel de Riesgo 2 (Medio): Trabajo constantemente dentro de instalaciones, Nivel de Riesgo 1 (Bajo): Home Office. Se observan calificaciones de niveles de riesgo 2(medio) en su mayoría debido también a la implementación en 2021 de protocolos internacionales ya estandarizados a todos los niveles en el territorio nacional.

8. Factores de riesgo de salud



Gráfica 9. Factores de riesgo de salud en diferentes niveles jerárquicos considerados en Coahuila y Durango



Gráfica 10. Factores de riesgo de salud en grupos vulnerables considerados en Coahuila y Durango

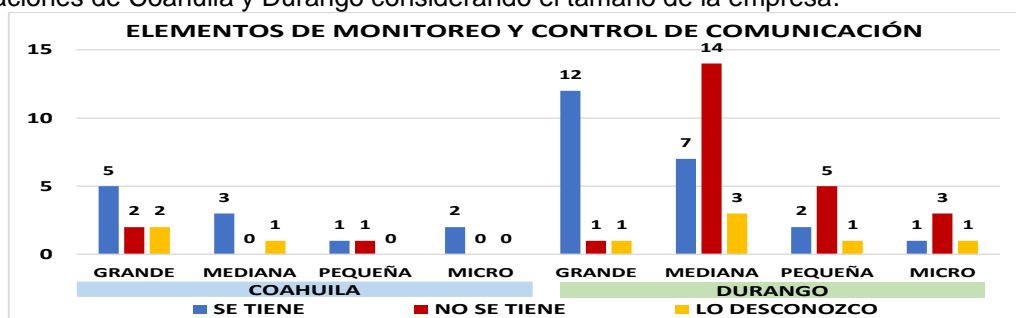
Evaluación y el efecto

¿Qué es lo que pueden hacer las organizaciones frente a diversos tipos de situaciones críticas en los entornos VICA (Volátil, Incierto, Complejo y Ambiguo)?

Primero, ser conscientes de cuál es su nivel de capacidad de reacción, es decir, cuál es el grado de prevención, que tiene la empresa para abordar una crisis. Se pueden establecer dos grandes grupos de tipologías de compañías según sea dicha preparación previa: empresas *slow*, compañías lentas, con una mínima capacidad de actuar en tiempo real en cuanto se detecta o estalla la crisis, y empresas *fast*, compañías rápidas, con una gran capacidad de actuar en tiempo real y afrontar las primeras horas de una crisis, que son clave [7].

- e. Se aplica un test complementario de autodiagnóstico propuesto por Natalia Sara, Gerente del área Crisis y Riesgos de Llorente y Cuenca (LLYC) el cual explica en su artículo “Los nuevos tipos de crisis y cómo las empresas pueden mejorar en gestionar su comunicación” y manifiesta que basta con saber con qué cuenta previamente una compañía para tener un primer autoanálisis de su capacidad para abordar hoy día los nuevos escenarios de crisis [7]. Para el tema de autoevaluación de nivel de reacción de la organización ante una crisis en general, se consideraron principalmente los temas de comunicación efectiva y control de la información en las preguntas del grupo A.

9. Grupo A. Nivel de reacción en temas de comunicación efectiva y control de la información en las organizaciones de Coahuila y Durango considerando el tamaño de la empresa.



Gráfica 11. Monitoreo y control de comunicación Coahuila y Durango

En un 45% en promedio de las encuestas manifiestan tener los elementos mencionados en monitoreo y control de comunicación e información. Pero cuando se evalúan los elementos del segundo rubro: manuales y protocolos de comunicación, planes de contingencia, simulacros, capacitaciones y uso de plataformas digitales, se observan respuestas promedio que marcan que 35% no lo tienen contemplado o desconocen esos elementos como estrategias para hacer frente de forma rápida a una crisis.

Resultados de autoevaluación de nivel de reacción ante una crisis

De acuerdo a la metodología utilizada cuando se aplican los puntajes para evaluar la capacidad de las organizaciones frente a una situación de crisis se obtuvieron los siguientes resultados globales en la encuesta:

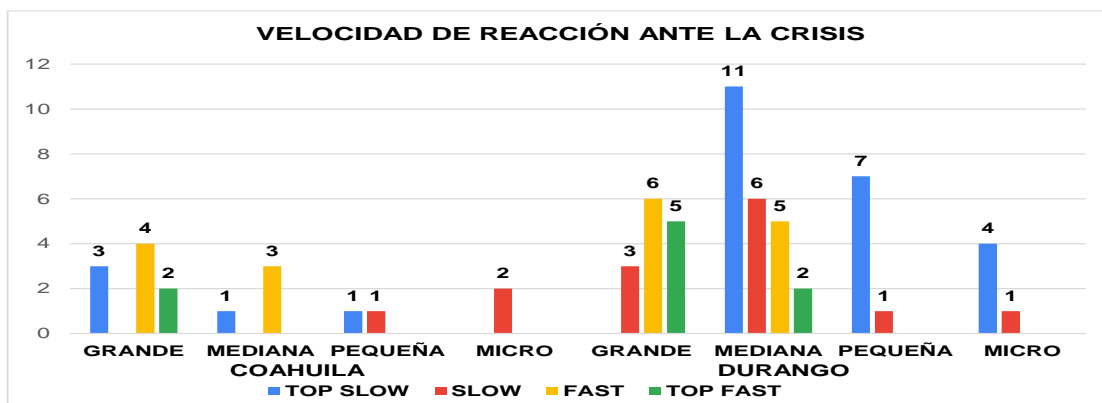
Tabla 3. Tipos de crisis según sus categorías, clasificación y fases

PUNTOS OBTENIDOS	NIVEL DE REACCIÓN	NÚMERO DE PARTICIPANTES	%
0-13	TOP SLOW	27	40
14-24	SLOW	14	20.4
25-30	FAST	18	26.4
31-37	TOP FAST	9	13.2

En el análisis global sólo el 13.2% de las respuestas manifiestan tener capacidad de respuesta de alta velocidad, el 26.4% se visualizan como de rápida respuesta, el 20.4 de respuesta lenta y el 40% se visualiza como empresas de baja o muy lenta respuesta ante la crisis, aún y que se prepararon durante 2020 y 2021 en protocolos nacionales e internacionales de atención de crisis de salud, y considerando que, en el análisis de fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades se evaluaron de forma muy optimista en su mayoría. En la tabla 4 se aprecia la velocidad de reacción por estados.

Tabla 4. Velocidad de reacción ante la crisis por estados.

ESTADO	TAMAÑO	VELOCIDAD DE REACCIÓN ANTE LA CRISIS			
		TOP SLOW	SLOW	FAST	TOP FAST
COAHUILA	GRANDE	3	0	4	2
	MEDIANA	1	0	3	0
	PEQUEÑA	1	1	0	0
	MICRO	0	2	0	0
DURANGO	GRANDE	0	3	6	5
	MEDIANA	11	6	5	2
	PEQUEÑA	7	1	0	0
	MICRO	4	1	0	0
TOTAL		27	14	18	9



Gráfica 12. Nivel de velocidad de respuesta ante la crisis de las empresas de Coahuila y Durango

De acuerdo a la Gráfica 12, se aprecia que las empresas grandes tanto de Durango como de Coahuila se perciben como rápidas o muy rápidas para reaccionar ante la crisis, y hay relación en cuanto a las fortalezas que las mismas poseen por tener una mejor estructura orgánica y mayor temor al riesgo por el nivel de capital invertido, por lo tanto, mayor previsión y velocidad en la respuesta.

Reflexión y Trabajo a futuro

Se pretende aplicar un formulario de autoevaluación al finalizar la capacitación que las empresas participantes en el Premio Región Lagunera hacia la Calidad edición 2022 llevarán a cabo de octubre 2022 a febrero 2023 considerando como patrón de referencia el Modelo Nacional para la Transformación Organizacional, a fin de cuantificar los aprendizajes acumulados durante el proceso de autodiagnóstico, capacitación, evaluación documental y evaluación de campo a través de las técnicas y herramientas que se ofrece durante el proceso del Premio que lleva a cabo Canacintra G.P., basados en la metodología del Premio Nacional de Calidad.

Conclusiones

En cuestión de cualquier tipo de crisis la prevención es la mejor herramienta. La cultura preventiva implica básicamente: que la organización haya identificado los potenciales riesgos (prever escenarios), que disponga de un manual de crisis (protocolo de actuación); tener definido las personas encargadas de su gestión (Comité de Crisis); que directivos y empleados sepan qué hacer llegado el caso; que se cuente con un portavoz o portavoces preparados (persona designada para hacer declaraciones por la empresa) y con instrumentos de comunicación específicos para ser activados, así como un sistema de monitorización (competencia, internet, medios). Junto a ello, es muy importante el entrenamiento, tanto en el plano de simulacros de crisis, como en el aspecto de cómo actuar ante los medios de comunicación [7].

Se deberá monitorear a las empresas a fin de validar los aprendizajes generados durante las crisis sociales, económicas y emocionales derivadas de un problema global de salud en virtud de enfermedades infecciosas que afectaron toda la vida de la comunidad mundial. Y que generaron una gran cantidad de problemas a las organizaciones y la sociedad en general que ahora están viviendo la “nueva normalidad”. Estos aprendizajes deben enfocarse en estar mejor preparados para enfrentar cualquier tipo de crisis basados en la prevención como se ha mencionado anteriormente

Sin lugar a dudas, las empresas de la Comarca Lagunera que fueron entrevistadas han reflexionado sobre los temas previstos en el formulario de autoevaluación y se han dado cuenta que aun falta camino por recorrer en cuanto a capitalizar el aprendizaje que ha dejado la pandemia en temas de prevención, planes de contingencia, protocolos, información y comunicación, que son los elementos que mayor debilidad se presentaron en el análisis, aunque las organizaciones se visualizaron positivamente con mayores fortalezas.

De acuerdo al entorno VICA en el que actualmente se vive y el estar desarrollándose y evolucionando en una sociedad digitalizada deja como reflexión que los episodios de crisis serán la nueva normalidad por lo que hay que salir del área de confort y estar en alerta constante para enfrentar los cambios acelerados que generan riesgos estratégicos.

Referencias

- [1] I. M. Olis, G.E. Reyes, V. Martin-Fiorino, J.V. Villalobos-Antúnez, “Crisis empresarial, factores que influyen y altera la gestión de empresas en Colombia”, Revista de Ciencias Sociales, Universidad del Zulia (Ve), vol. XXVII, núm. 4, pp. 93-112, 2021. <https://www.redalyc.org/journal/280/28069360008/html/>
- [2] C.M. Pearson, I.I. Mitroff, “From crisis prone to crisis prepared: A framework for crisis management. *The Executive*”, 7(1), 48-59, 1993.
- [3] Organización Internacional de Normalización. *Seguridad y resiliencia. Sistemas de gestión de continuidad del negocio* (ISO 22301), 2019. <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100442.pdf>
- [4] T, Bevan, “NQA, ISO 22301:2019, Guía de implantación de la continuidad de negocio”, 2019. <https://www.nqa.com/medialibraries/NQA/NQA-Media-Library/PDFs/Spanish%20QRFs%20and%20PDFs/NQA-ISO-22301-Guia-de-implantacion.pdf>
- [5] N. Sara, “Que es un manual de crisis y para qué sirve”, 2014. <https://nataliasara.com/2014/09/08/que-es-un-manual-de-crisis-y-para-que-sirve/>
- [6] R. Hernández, C. Fernández, M.D.P. Baptista, *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill/ Interamericana Editores, 2014
- [7] N. Sara, “Los nuevos tipos de crisis y cómo las empresas pueden mejorar en gestionar su comunicación”, 2019. <https://nataliasara.com/2019/12/31/los-nuevos-tipos-de-crisis-y-como-las-empresas-pueden-mejorar-en-gestionar-su-comunicacion/>

Programación del método de Vogel en estudio de movilidad en la sierra nororiental de Puebla

M. Espinosa Tlaxcaltecatl¹, N. Hernández Méndez², O. J. Zapata Nava³, M. Tlapapal Betancourt⁴, M. A. Alonso Perez⁵,

¹Universidad Politécnica de Puebla, mario.espinosa@uppuebla.edu.mx, ²Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla, nefh0180@gmail.com, ³Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla, oscar.zn@zacapoaxtla.tecnm.mx, ⁴Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla, iq_marisol@yahoo.com.mx, ⁵Universidad Politécnica de Puebla, marco.alonso@uppuebla.edu.mx.

Área de participación: Ingeniería industrial

Resumen

En este trabajo se reporta el procedimiento para seleccionar las rutas con menores costos de transporte, en un estudio donde existen cinco municipios de la sierra nororiental del estado de Puebla con posibilidad de acceder a dos centros turísticos (Libres y Zaragoza). La propuesta utiliza el método de Vogel. Primero, describiendo el proceso matricial de comparaciones, asignaciones y operaciones entre celdas para conocer al costo mínimo, así como las trayectorias recomendadas de traslado. En un segundo proceso, se comprueba el resultado, con un algoritmo desarrollado en Python que permite estimar el costo mínimo de traslado. La lógica del algoritmo aprovecha las funciones matriciales de la librería Numpy y la asignación de subrutinas a funciones, en una programación por módulos. Los resultados son un ejemplo de la posibilidad de análisis de trayectorias al menor costo entre distintas ubicaciones con posibilidad de modificar el número de ellas. Esto permite sugerir las opciones económicamente viables por traslado hacia los centros turísticos objetivos.

Palabras clave: Vogel, costo de transporte, Python, programación, optimización

Abstract

This work reports how to solve the minimal cost routes problem. Our study involves five counties of sierra nororiental of Puebla which need to have access to two tourist centers (Libres and Zaragoza). The procedure uses the Vogel's method. First, the matrix process of comparisons, assignments and operations between cells is described, to determine the minimum cost, as well as the recommended transportation routes. In a second process, the result is checked, using an algorithm developed in Python code that allows estimating the minimum cost of transportation without limitations of the number of locations involved. The logic of the algorithm takes advantage of the array functions of the Numpy library and the assignment of subroutines to functions, in a programming by modules. Our results show how to calculate the minimal cost routes where the number of origins and destinations can be modified freely. It allows for proposing better routes toward the objective tourist centers from an economic point of view.

Key Works: Vogel, transportation cost, Python, programming, optimization

Introducción

El método de Vogel es un procedimiento heurístico utilizado generalmente para la optimización de costos, planificando rutas de transporte en empresas [1]. Este método, basado en el método simplex de Dantzig [2] y el método del noreste [3], consiste en un algoritmo de tres pasos dentro de los cuales intenta comparar los dos precios más bajos para cada columna y fila, para evaluar el campo donde la opción más barata tiene el peor impacto en el resultado final.

Este método es programado para reducir el tiempo de cálculos realizados, por este motivo el código está diseñado para matrices de diferentes tamaños. Su estructura está diseñada por medio de módulos [4], cada uno de los pasos (para la asignación de los datos en la matriz y para el proceso de iteración) que se realizan de forma manual.

Metodología

A) Proceso para cálculo de costo mínimo de traslado

La programación del método de Vogel está desarrollada en el lenguaje de programación Python por las diferentes ventajas [5], dentro de las cuales se encuentran: Los programas resultan compactos, fáciles de escribir, leer, y otorgan información útil para el proceso de detección y corrección errores. También es un programa de acceso libre.

Python tiene la posibilidad de dividir los programas demasiado largos en módulos [6], para facilitar su mantenimiento y legibilidad, los módulos son entidades que permiten la organización y división lógica del código.

El proceso de selección de las poblaciones consideradas como origen, en el estudio de costo mínimo de traslado considera dos casos (CASO 1 y CASO 2), conservando a las poblaciones de interés (destinos) como las mismas en ambos casos.

CASO 1.

Puntos de origen y destino. - Se definen las distancias entre los puntos origen y los puntos destino, ver tabla 1.

Tabla 1. Distancias entre origen y destino.

	Libres	Zaragoza
Teziutlán	61.4 km	27 km
Zacapoaxtla	58 km	18.4 km

Cálculo de costo de transporte entre puntos. - Usando la ecuación (1) se estima el valor de costo de traslado punto a punto. Los costos de traslado consideran un rendimiento combinado de 20.67 km/litro [7], un costo económico de combustible \$21.16 y distancia de separación entre localidades obtenidas de Google Maps. Los costos unitarios de traslado consideran a una capacidad máxima de 4 personas por vehículo de transporte, (ver tabla 2).

$$\text{Costo} = \frac{\text{Distancia (km)}}{\text{Rendimiento del vehículo (km/l)}} (\text{Costo de combustible (\$/ Litro)}) \quad \text{Ec. (1)}$$

Tabla 2. Costos unitarios de origen a destino

	Libres	Zaragoza
Teziutlán	\$16	\$7
Zacapoaxtla	\$15	\$5

En la tabla 3 se muestra la tabla general con la información de oferta, demanda y costos de traslado.

Tabla 3. Tabla general.

	Libres	Zaragoza	Oferta
Teziutlán	16	7	3
Zacapoaxtla	15	5	3
Demanda	2	4	0

El proceso de estimación del costo mínimo de traslado se describe en 5 pasos:

Paso 1.-Seleccionan los dos valores mínimos de cada fila y cada columna de costos.

Paso 2. Resta de los valores mininos.

Paso 3. El resultado de la operación se asigna en una nueva fila abajo y columna a la derecha, llamadas penalizaciones.

	Libres	Zaragoza	Oferta	Penalización 1
Teziutlán	16	7	3	9
Zacapoaxtla	15	5	3	10
Demanda	2	4	0	
Penalización 1	1	2		

Paso 4.- Selección de la penalización mayor entre el total de penalizaciones.

	Destino 1	Destino 2	Oferta	Penalización 1
Origen 1	16	7	3	9
Origen 2	15	5	3	10
Demanda	2	4	0	
Penalización 1	1	2		

Paso 5. Selección de fila o columna con la penalización más alta.

Paso 6. Comparación de la oferta y demanda asociadas al valor del menor costo.

Paso 7. De la comparación de oferta y demanda, seleccionamos la menor y lo asociamos a la casilla del menor costo. Este procedimiento se repite hasta asociar toda la demanda a la oferta.

	Libres	Zaragoza	Oferta	Penal. 1	Penal. 2
Teziutlán	2 16	1 7	3 2 0	9	9
Zacapoaxtla	15	3 5	3 0	10	x
Demanda	2 0	4 4 0	0		
Penal. 1	1	2			
Penal. 2	0	0			

El resultado final este concentrado en la tabla 4, la cual muestra las casillas útiles para el cálculo de costo mínimo de traslado entre los puntos origen y los puntos destino.

Tabla 4. Tabla final de resultados al aplicar método de Vogel.

	Libres	Zaragoza	Oferta
Teziutlán	2 16	1 7	
Zacapoaxtla	0 15	3 5	
Demanda			

Costo final:

$$(2 * \$16) + (1 * \$7) + (0 * \$15) + (3 * \$5) = \$54$$

CASO 2

Puntos de origen y destino. - Se definen las distancias entre los puntos origen y los puntos destino, ver tabla 5.

Tabla 5. Distancias entre origen y destino.

	Libres	Zaragoza
Tlatlauquitepec	52.7 km	14.4 km
Cuetzalan	92.8 km	53 km
Tetela de Ocampo	71.9 km	51.1 km

Cálculo de costo de transporte entre puntos. - Usando la ecuación (1) se obtiene cada uno de los costos. (Tabla 6)

Tabla 6. Costos unitarios de origen a destino

	Libres	Zaragoza
Tlatlauquitepec	\$13	\$4
Cuetzalan	\$24	\$14
Tetela de Ocampo	\$18	\$13

En la tabla 7 se observan los datos de oferta, demanda y costos de traslado.

Tabla 7. Tabla general.

	Libres	Zaragoza	Oferta
Tlatlauquitepec	13	4	2
Cuetzalan	24	14	3
Tetela de Ocampo	18	13	2
Demanda	4	3	0

Pasos para la estimación del costo mínimo de traslado entre los puntos de almacenes y destinos:

Paso 1.-Seleccionan los dos valores mínimos de cada fila y cada columna de costos.

Paso 2. Resta de los valores mininos.

Paso 3. El resultado de la operación se asigna en una nueva fila abajo y columna a la derecha, llamadas penalizaciones.

	Libres	Zaragoza	Oferta	Penalización 1
Tlatlauquitepec	13	4	2	9
Cuetzalan	24	14	3	10
Tetela de Ocampo	18	13	2	5
Demanda	4	3	0	
Penalización 1	5	9		

Paso 4.- Selección de la penalización mayor entre el total de penalizaciones.

Paso 5. Selección de fila o columna con la penalización más alta.

Paso 6. Comparación de la oferta y demanda asociadas al valor del menor costo.

Paso 7. De la comparación de oferta y demanda, seleccionamos la menor y lo asociamos a la casilla del menor costo. Este procedimiento se repite hasta asociar toda la demanda a la oferta.

Resultados al terminar el proceso de iteraciones.

	Libres	Zaragoza	Oferta	Penal. 1	Penal. 2
Tlatlauquitepec	2 13	4	2 0	9	0
Cuetzalan	24	3 14	3 0	10	X
Tetela de Ocampo	2 18	13	2 0	5	0
Demanda	4 2 0	3 0	0		
Penal. 1	5	9			
Penal. 2	5	x			

La tabla 8 contiene el resultado final del proceso, en ella se muestra el costo menor de cada traslado.

Tabla 8. Tabla final de resultados al aplicar método de Vogel.

	Libres	Zaragoza
Tlatlauquitepec	2 13	4
Cuetzalan	24	3 14
Tetela de Ocampo	2 18	13

Costo final:

$$(2 * \$13) + (0 * \$4) + (0 * \$24) + (3 * \$14) + (2 * \$18) + (0 * \$13) = \$104$$

B) Proceso de para estimación de costo mínimo de traslado usando algoritmo

Creación de matriz aumentada

Solicita el programa al usuario la cantidad de filas y columnas que tendrá la matriz, con el nombre de almacenes y destinos. Con esta información se solicitan cada uno de los datos que tendrá la matriz hasta tenerla completa que es mostrada al usuario. Se realiza la asignación de datos de oferta y demanda pidiendo al final de oferta un 0, para que la matriz pueda estar completa, con estos datos se realiza una comparación de ambas cantidades de oferta y demanda para comprobar el equilibrio en sus sumas, de no ser así pide que se introduzcan de nuevo los datos hasta que el resultado de ambas sumas sea igual, al final se muestra la matriz aumentada con todos los datos introducidos (Llave izquierda de la figura 1).

Cálculo de penalización

Para calcular las penalizaciones se toman los datos de cada una de las filas y columnas, se seleccionan los dos valores manimos y el resultado es introducido en una nueva fila y columna que se muestran en pantalla, de todos los resultados obtenidos es seleccionada la penalización mayor y la fila o columna a la que corresponde, se comparan los valores de oferta y demanda asociados al valor menor para restar en ambos casos el elemento más bajo de esta comparación (Llave derecha de la figura 1).

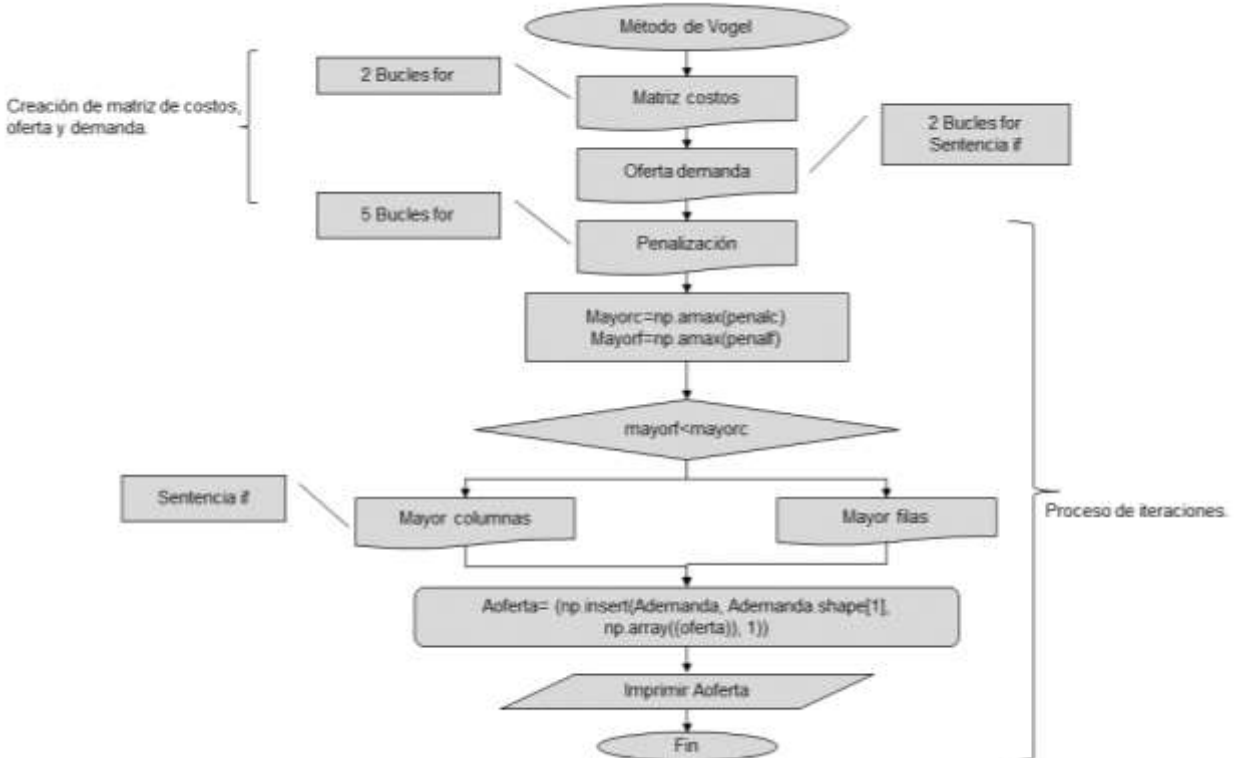


Figura 1. Diagrama de flujo con la lógica de programación en Python.

Resultados y discusión

Resultados de cálculo manual de costo mínimo de traslado para ambos casos analizados

En la figura 2 se observa las trayectorias encontradas a partir del método desarrollado.

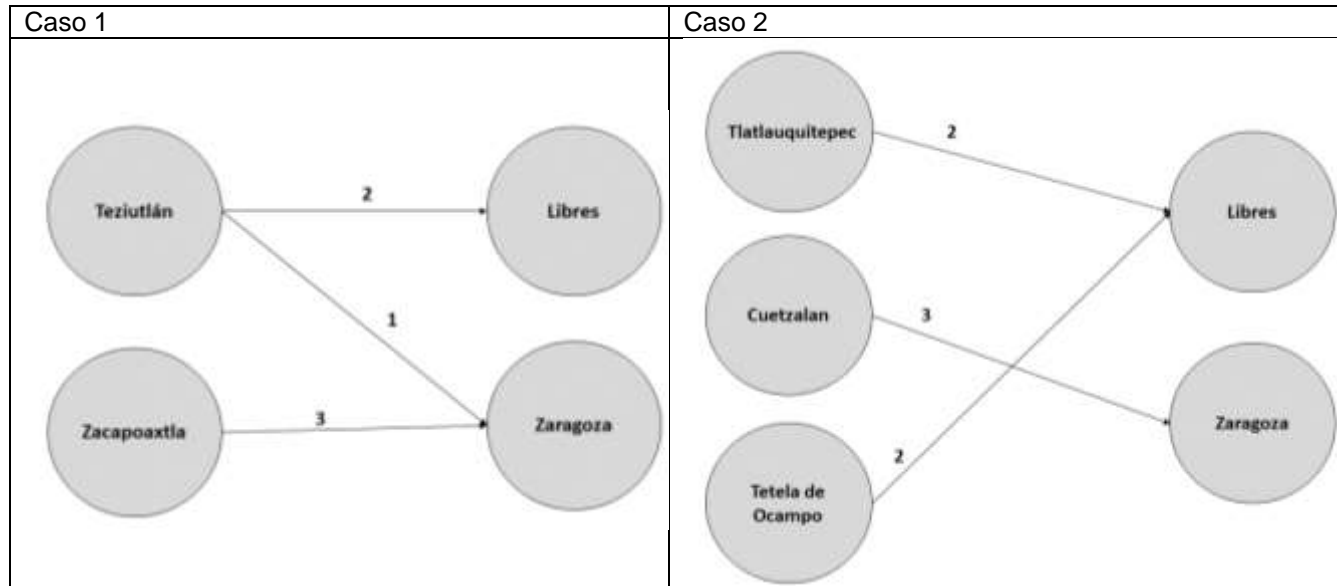


Figura 2. Esquema con la capacidad de traslado y trayectorias sugeridas por el método de Vogel.

Las trayectorias sugeridas de traslado en ambos casos muestran que el municipio destino con mayor importancia por el número de personas trasladadas, cambia de acuerdo a los municipios origen propuestos. Lo cual es esperado por el cambio de variables de distancia, costos y personal en desplazamiento. Este resultado se puede aplicar en situaciones diversas, costos de traslado de personal [8], costos de transporte de productos fabricados [9] y como en nuestro caso, el estudio de traslado de personas a municipios destino.

Resultados de cálculo por iteraciones usando Python para ambos casos analizados

La aplicación del algoritmo implementado en Python se muestra con ejemplos significativos del código diseñado, así como captura de pantalla de los resultados obtenidos con el programa, en los dos casos de estudio de movilidad planteados en la metodología. La estructura de presentación es en forma paralela a los resultados alcanzados en forma manual.

Proceso de asignación de datos de entrada.

Paso A. Tamaño de la matriz. - Petición de número de almacenes (filas) y destinos (columnas)

Caso 1	Caso 2
Código <code>filas= int(input("Introduzca el número de almacenes: "))</code> parcial: <code>column= int(input("Introduzca el número de destinos: "))</code>	
<pre>Introduzca el número de almacenes: 2 Introduzca el número de destinos: 2</pre>	<pre>Introduzca el número de almacenes: 3 Introduzca el número de destinos: 2</pre>

Paso B. Asignación de costos

Caso 1	Caso 2
Código: <code>print("Introduzca el costo de transporte")</code> parcial: <code>A= []</code> <code>...</code> <code>A=np.array(A)</code> <code>print(A)</code>	
<pre> Introduzca el costo de transporte Almacen 1 a Destino 1: 16 Almacen 1 a Destino 2: 7 Almacen 2 a Destino 1: 15 Almacen 2 a Destino 2: 5 [[16. 7.] [15. 5.]] </pre>	<pre> Introduzca el costo de transporte Almacen 1 a Destino 1: 13 Almacen 1 a Destino 2: 4 Almacen 2 a Destino 1: 24 Almacen 2 a Destino 2: 14 Almacen 3 a Destino 1: 18 Almacen 3 a Destino 2: 13 [[13. 4.] [24. 14.] [18. 13.]] </pre>

Paso C.- Asignación de datos de demanda (fila principal)

Caso 1	Caso 2
Código: <code>print("Introduzca las cantidades de demanda")</code> parcial: <code>demanda= []</code> <code>for d in range (column): #Iteración con el número de columnas</code> <code>valor = float(input("Cantidad %i: " %(d+1)))</code> <code>demanda.append(valor)</code> <code>print("Demanda")</code> <code>print(demanda)</code>	
<pre> Introduzca las cantidades de demanda Cantidad 1: 2 Cantidad 2: 4 Demanda [2.0, 4.0] </pre>	<pre> Introduzca las cantidades de demanda Cantidad 1: 4 Cantidad 2: 3 Demanda [4.0, 3.0] </pre>

Paso D.-Asignación de datos de oferta (columna principal)

Caso 1	Caso 2
<pre> Introduzca las cantidades de oferta y 0 al final Cantidad 1: 3 Cantidad 2: 3 Cantidad 3: 0 Oferta [3.0, 3.0, 0.0] </pre>	<pre> Introduzca las cantidades de oferta y 0 al final Cantidad 1: 2 Cantidad 2: 3 Cantidad 3: 2 Cantidad 4: 0 Oferta [2.0, 3.0, 2.0, 0.0] </pre>

Paso E. Comprobar del equilibrio entre oferta y demanda total

Caso 1	Caso 2
<pre> Las cantidades de oferta y demanda estan equilibradas Matriz de costos, oferta y demanda: [[16. 7. 3.] [15. 5. 3.] [2. 4. 0.]] </pre>	<pre> Las cantidades de oferta y demanda estan equilibradas Matriz de costos, oferta y demanda: [[13. 4. 2.] [24. 14. 3.] [18. 13. 2.] [4. 3. 0.]] </pre>

1) Proceso cíclico de cálculo de penalizaciones.

Paso 1.-Seleccionan los dos valores mínimos de cada fila y cada columna de costos.

Paso 2. Resta de los valores mininos

Paso 3. El resultado de la operación se asigna en una nueva fila abajo y columna a la derecha, llamadas penalizaciones.

Caso 1	Caso 2
<pre> Código parcial: penalc=[] #Vector para la penalización de columnas sin elementos. for i in range (column): ... print("Penalización de destinos: ") print(penalc) penalf=[] for i in range (filas): ... print("Penalización de almacenes: ") print(penalf) </pre>	
<pre> Penalización de destinos: [1.0, 2.0] Penalización de almacenes: [9.0, 10.0] </pre>	<pre> Penalización de destinos: [5.0, 9.0] Penalización de almacenes: [9.0, 10.0, 5.0] </pre>

Paso 4.- Selección de la penalización mayor entre el total de penalizaciones.

Caso 1	Caso 2
$\boxed{\begin{bmatrix} \text{Penalización mayor del almacén 2: } 10 \end{bmatrix}}$	$\boxed{\begin{bmatrix} \text{Penalización mayor del almacén 2: } 10 \end{bmatrix}}$

Paso 5. Selección de fila o columna con la penalización más alta.

Caso 1	Caso 2
$\boxed{\begin{bmatrix} \text{costos del almacén 2:} \\ 15. \ 5. \end{bmatrix}}$	$\boxed{\begin{bmatrix} \text{costos del almacén 2:} \\ 24. \ 14. \end{bmatrix}}$

Paso 6. Comparación de la oferta y demanda asociadas al valor del menor costo.

Paso 7. De la comparación de oferta y demanda, seleccionamos la menor y lo asociamos a la casilla del menor costo.

Caso 1	Caso 2
$\boxed{\begin{array}{l} \text{Demanda modificada:} \\ [2.0, 1.0] \\ \text{Oferta modificada:} \\ [3.0, 0, 0.0] \\ [[16. \ 7. \ 3.] \\ [15. \ 5. \ 0.] \\ [\ 2. \ 1. \ 0.]] \end{array}}$	$\boxed{\begin{array}{l} \text{Oferta modificada:} \\ [2.0, 0, 2.0, 0.0] \\ \text{Demanda modificada:} \\ [4.0, 0] \\ [[13. \ 4. \ 2.] \\ [24. \ 14. \ 0.] \\ [18. \ 13. \ 2.] \\ [\ 4. \ 0. \ 0.]] \end{array}}$

El procedimiento iterativo se repite hasta asociar toda la demanda a la oferta. El resultado final se presenta con dos matrices, la primera (izquierdo) con los costos unitarios de traslado y la segunda (derecho) con los resultados de la oferta y/o demanda asociados a los costos.

Caso 1	Caso 2
$\boxed{\begin{bmatrix} [[16 \ 7] \\ [15 \ 5]] \end{bmatrix}} \quad \boxed{\begin{bmatrix} [[2 \ 1] \\ [0 \ 3]] \end{bmatrix}}$	$\boxed{\begin{bmatrix} [[13 \ 4] \\ [24 \ 14] \\ [18 \ 13]] \end{bmatrix}} \quad \boxed{\begin{bmatrix} [[2 \ 0] \\ [0 \ 3] \\ [2 \ 0]] \end{bmatrix}}$

Finalmente, se multiplican elemento por elemento entre ambas matrices.

Caso 1	Caso 2
$\boxed{\begin{bmatrix} [[32 \ 7] \\ [\ 0 \ 15]] \end{bmatrix}}$	$\boxed{\begin{bmatrix} [[26 \ 0] \\ [\ 0 \ 42] \\ [36 \ 0]] \end{bmatrix}}$

El resultado de la suma de las multiplicaciones es:

Caso 1	Caso 2
$\boxed{\begin{bmatrix} \text{Costo total} \\ \text{Costo total} \end{bmatrix}}$	$\boxed{\begin{bmatrix} \text{Costo total} \\ \text{Costo total} \end{bmatrix}}$

Resultado de costo mínimo: 54	Resultado de costo mínimo: 104
-------------------------------	--------------------------------

Trabajo a futuro

Utilizar los resultados del proceso iterativo de cálculo de costo mínimo de traslado, para realizar un análisis que involucre un número elevado de poblaciones consideradas origen hacia distintas poblaciones consideradas destino, con el objetivo de encontrar las rutas optimas en costo de traslado. Y en el caso particular de nuestro trabajo, se debe de realizar un estudio conjunto de los cinco municipios considerados origen y los dos considerados destinos en un ejercicio común, para poder definir una ruta general de traslado.

Conclusiones

Se realizó la estimación del costo mínimo de traslado entre cinco ubicaciones origen a dos ubicaciones destino, utilizando un procedimiento matricial, así como el diseño y prueba del algoritmo de cálculo de este método usando programación en Python. Los resultados de ambos métodos muestran una propuesta sugerida de las trayectorias con menor costo de traslado. En este sentido, en el primer caso, el municipio de Zaragoza es el centro destino más importante al contar con dos conexiones de los municipios origen. En el segundo caso, el municipio de Libres es la opción más importante al contar con dos conexiones directas.

Referencias

- [1] E. A. Bermeo Muñoz and J. H. Calderon Sotero, "Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte," *El hombre y la máquina*, pp. 52-67, 2009.
- [2] W. Gonçalves, "Problema de transporte em pequenos negócios: uma proposta a partir do Vogel's approximation method," *Iberoam. J. Ind. Eng.*, Vol. 12, pp. 1-17, 2020.
- [3] C. Ortega, "Estrategia de distribución bajo modelo aproximación Vogel para minimizar costos en servicio transporte de carga. Caso Transrolimev s.a," *Repos. Dsp.*, p. 125, 2021.
- [4] David Beazley and Brian K. Jones, *Python cookbook*, 3rd edition. 2013.
- [5] I. G. Luengo and P. G. Sevilla, *Introducción a la programación con Python 3*. 2014.
- [6] R. Gonzalez Duque, *Python para todos*. 2011.
- [7] Sener, "Rendimiento de Combustible," *Gob. México*, 2020.
- [8] A. AguadoAranda and J. Jiménez Aranda, "Optimización de rutas de transporte." Universidad Complutense de Madrid, P. 78, 2013.
- [9] G. Baca Urbina, *Evaluación de proyectos*, 7.ª ed. 2013.

Plan de mantenimiento aplicando AMEF para el sistema de bandas transportadoras en una empresa metalúrgica.

K. S. Flores Hernández¹, S. Vázquez Rosas^{1*}, U. A. Hernández Sánchez¹, E. I. Caballero López¹

¹Ingeniería en Mantenimiento Industrial, Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Av. Universidad No 350 Carr. Federal Cuitláhuac – La Tinaja, Loc. Dos Caminos, C.P. 94910 Veracruz, México

*sergio.vazquez@utcv.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

El presente proyecto muestra el desarrollo de una puesta de un plan de mantenimiento para la sección de aditivos de una empresa metalúrgica en el estado de Veracruz. Los aditivos que llegan al horno de fusión son transportados desde el lado posterior del horno a través de bandas transportadoras, las cuales cumplen diferentes funciones: el sistema tiene tolvas, bandas transportadoras, silos, compuertas hidráulicas, neumáticas y manuales, vibradores y bandas pesadoras. En dichos elementos existe la presencia de problemas como; canchales sueltos, obstrucción de bandas, desalineación de las bandas, desgaste y perforaciones en las bandas. El objetivo del proyecto es desarrollar una propuesta para un plan de mantenimiento mediante la aplicación de un análisis del modo y efecto de la falla (AMEF). Se evaluó la criticidad de cada componente de los equipos para poder determinar la frecuencia de las actividades de mantenimiento preventivo, posteriormente, se estimaron los recursos humanos, materiales y tiempo para la ejecución de las actividades. Finalmente, se estructuró los cronogramas de mantenimiento para los equipos analizados.

Palabras clave: *Mantenimiento, Análisis del modo y efecto de la falla, Criticidad, Optimización*

Abstract

This project shows the development of a maintenance plan for the additives section of a metallurgical company in the state of Veracruz. The additives that arrive to the melting furnace are transported from the back side of the furnace through conveyor belts, which fulfill different functions: the system has hoppers, conveyor belts, silos, hydraulic, pneumatic and manual gates, vibrators and weighing belts. In these elements there are problems such as: loose buckets, belt obstruction, belt misalignment, wear and perforations in the belts. The objective of the project is to develop a proposal for a maintenance plan through the application of a failure mode and effect analysis (FMEA). The criticality of each equipment component was evaluated in order to determine the frequency of preventive maintenance activities, then human resources, materials and time for the execution of the activities were estimated. Finally, the maintenance schedules for the analyzed equipment were structured.

Key words: *Maintenance, Failure Mode and Effect Analysis, Criticality, Optimization*

Introducción

El mantenimiento es el encargado de que los equipos siempre funcionen tomando la disponibilidad como un indicador para evaluar el tiempo efectivo de trabajo de las máquinas [1]. Existen muchos factores que influyen sobre el mantenimiento los cuales terminan condicionando el mantenimiento de las empresas y que varía en cada una de ellas. Ejemplo: presupuesto para realizar una tarea. Además, el mantenimiento debe ser ligado con los objetivos de las empresas y se debe ver como una actividad productiva y no como una carga de dinero, ya que mantener el equipo no solo asegura la disponibilidad del equipo, así mismo asegura la calidad de la producción [2]. La literatura destaca la existencia de 3 enfoques de mantenimiento; correctivo, de mejora y preventivo. El primero se encarga de realizar intervenciones en caso de presentarse una emergencia, puesto que, no se cubrieron los imprevistos previstos o por áreas de oportunidad de los empleados. El mantenimiento de mejora consiste en detectar las averías o fallas de las máquinas y realizar una modificación para lograr prolongar

la vida útil de los equipos [3]. Ejemplo: Cambiar cojinetes de fricción por rodamientos mejorando la lubricación del equipo. Por último, el mantenimiento preventivo se encarga de realizar inspecciones e intervenciones antes de que existan fallas, para lograrlo se basa en actividades de mantenimiento planificadas.

Existen 3 tipos de mantenimiento preventivo que juntos forman un plan de mantenimiento: Mantenimiento programado, mantenimiento predictivo y mantenimiento de oportunidad. El Mantenimiento programado: Es el mantenimiento que se realiza por tiempos. Mantenimiento predictivo: El que se realiza al final del periodo estimado máximo. Por último, Mantenimiento de oportunidad: El cual se aprovecha que el equipo este parado para realizar un mantenimiento e interrumpir la producción [4]. Además de todo esto antes mencionado se puede tomar en cuenta el tipo de servicio y al equipo al que va dirigido el mantenimiento, se puede contemplar como: Mantenimiento pasivo: Se clasifica como el tipo de mantenimiento para que el equipo no se ve afectado por riesgos ambientales tales como: lluvia, nieve, calor, humedad o por manipulaciones intencionadas o accidentales de los operarios. Mantenimiento activo: Que depende de la calidad y los tipos de componentes del equipo se debe supervisar de manera más estricta y continúa el desgaste de los y el uso de estos [5].

En las organizaciones metalúrgicas es muy importante saber cuál es el tipo de horno con el que trabajan, lo cual permite saber qué tan importante es el mantenimiento preventivo debido a que este equipo da inicio a la producción, aunque el proceso inicia desde la recolección de la materia prima, en el caso de estudio cuenta con hornos fusión por arco eléctrico. La función del horno de arco eléctrico es fundir: chatarra, briquetas o HBI, CDRI, DRI, arrabio y fundentes mediante el paso de corriente eléctrica con electrodos de grafito. A cada ciclo se le conoce como colada: la primera etapa se realiza la fundición de la materia prima, finalmente, se vacía el acero líquido, a una olla de vaciado. El horno por arco eléctrico, requiere de briqueta-mineral y arrabio que se carga descoriado a una temperatura de 1350°C. Después del vaciado el acero y con el horno inclinado hacia el lado puerta de escoria se continúa a realizar la limpieza del agujero de vaciado, se eliminan los residuos de escoria y acero, así mismo se hace la inspección de estado del refractario, tamaño de electrodos, estado de los paneles del enfriamiento con agua [6].

La empresa caso de estudio presenta una problemática específica en las bandas de dosificación de aditivos para el proceso de fundición. Es en dichas bandas se transportan aditivos con un peso 400g cada uno y tiene una forma irregular (material comprimido) es debido al peso y su irregularidad que los cangilones de la banda transportadora principal son afectados ya que se afloja la tornillería de sujeción de cada cangilón y al pasar el tiempo el cangilón se cae lo que hace que aparezca en diferentes lugares del proceso obstruyendo el paso del material y dejando desprotegida la banda principal, puesto que sirven como separación de material y así el desgaste de las bandas de alimentación continuas tengan menores impactos de dicho material. Otro de los problemas que tiene la banda es la desalineación que por el mismo peso del material se juega hacia un lado o hacia el otro del rodillo alineador. Por último, existe el problema en las bandas pesadoras. El material transportado es caliente y que por su composición química desgasta la banda transportadora, haciendo agujeros en ella, lo cual hace una pérdida del material en consecuencia la cal pesada no llega en su totalidad al horno fusión.

Metodología

La investigación del tipo cuantitativa se aplica para comprender frecuencias, promedios, patrones y correlaciones, lo cual permite entender relaciones de causa y efecto, hacer generalizaciones y probar o confirmar teorías, hipótesis o suposiciones mediante un análisis estadístico. Los resultados se pueden expresar en números o gráficos [7]. Se aplicará la observación para contar el número de veces que ocurre un fenómeno o evento en concreto o se codifican datos observados para expresarlos en número. La investigación del proyecto es de tipo cuantitativa debido a que los datos son numéricos y se aplica el método de observación. La metodología del proyecto de investigación se puede visualizar en la figura 1, en donde mediante un check list de tareas se verifican los equipos, posteriormente, se recolecta la información técnica de los equipos, seguidamente, se desarrollan las fichas técnicas de equipos y se analiza mediante un AMEF y conforme al puntaje del número de prioridad de riesgo (NPR) se priorizan aquellos componentes que tengan valores altos, por último, se desarrolla un programa de mantenimiento preventivo.



Figura 1. Metodología aplicada

Desarrollo

El check list es la herramienta para verificar rutinariamente el estado en el que se encuentran los equipos del proceso de producción. El cual consta de la verificación de partes de las bandas transportadoras y silos. El check list que se aplicara para los puntos de verificación para los componentes de las bandas transportadoras y poder identificar desgastes en la banda, temperatura de la cinta transportadora, alineación de los componentes, apriete y ajuste de tornillos, lubricación de mecanismos, obstrucciones en banda y desgastes de rodillos. Luego, se procedió al desarrollo del análisis del modo y efecto de la falla (AMEF) en la figura 2 se muestra un AMEF realizado para un componente. El AMEF es una herramienta que requiere definir las funciones de una máquina que permite la ejecución adecuada de los procesos de producción, sus modos de falla que no permiten que se logre la función analizada, también, permite identificar los efectos y consecuencias que generan las fallas en el proceso o productos [8], [9]. Posteriormente, se identifica el modo potencial de falla de cada función antes de que se presente, luego se identificarán las causas potenciales de dichas fallas, para finalizar, se estiman los valores de severidad, ocurrencia y detección para determinar el número de prioridad de riesgo (NPR) y poder categorizar las principales fallas.

Proceso o producto:		Realizo:		Ubicación:		Área:		Evaluación de mejora											
Fecha:		Ubicación:		Área:		Evaluación de mejora		Evaluación de mejora											
AMEF No.:		Área:		Evaluación de mejora		Evaluación de mejora		Evaluación de mejora											
AMEF																			
Línea	Parte a analizar	Descripción	Modo potencial de falla	Efecto potencial de la falla	SEVERIDAD	Causa potencial de la falla	OCURENCIA	Controles actuales de prevención	Controles actuales de detección	DETECCIÓN	NPR	Acciones recomendadas	Responsable/Fecha	Acción tomada	SEVERIDAD	OCURENCIA	DETECCIÓN	NPR	
1	Cinta transportadora	Transportar el material de un extremo al otro	Daños por impacto	La banda derrama material	5	Caida de material excesiva	7	Compuerta manual	DE de mantenimiento preventivo	5	175	No quitar los redondos de Transportar	Manib. Mecanico						
			Ataque de material	La banda no avanza	7	Demasiado material transportado	4	No hay	DE de mantenimiento preventivo	1	28	Transportar moderadamente la	Manib. Mecanico						
			Falla en empalmes	La banda derrama material	8	Mala vulcanización	2	No hay	DE de mantenimiento preventivo	2	32	Verificar la vulcanización	Manib. Mecanico						
			Desgaste de la capa superior	La banda se rompe	9	El material daña la banda al paso del tiempo	3	No hay	DE de mantenimiento preventivo	1	27	Verificar continuamente el desgaste de la banda	Manib. Mecanico						
			Daños por objetos extraños u objetos ajenos	La banda se daña	5	No transporta el material adecuado (HBI o DR)	5	Compuerta manual	DE de mantenimiento preventivo	5	125	No transportar otro material que no sea HBI o DR, no tirar objetos y	Manib. Mecanico						
2	Rodillos (motriz e inducido)	Soporte para la movilización de la carga y ayudan a reducir la resistencia al movimiento	Desalineamiento de la banda	Banda desgastada	6	Desgaste de rodillos	7	Espagamos de alineacion	DE de mantenimiento preventivo	1	42	No dejar la banda cargada de material	Manib. Mecanico						
			Desgaste de rodillos	Rolura del rodillo o fisuramiento	8	Por mala lubricacion y paso del tiempo	3	No hay	DE de mantenimiento preventivo	2	48	Verificar el desgaste de los rodillos continuamente	Manib. Mecanico						
3	Rodillos de plancha	Soporte para la movilización de la carga y alineacion de la banda transportadora.	Composion desuniforme(bordes afilados)	Desalineamiento de la cinta transportadora	5	Por desgaste de los rodillos a través del tiempo	5	No hay	DE de mantenimiento preventivo	5	125	Verificar el desgaste de los rodillos continuamente	Manib. Mecanico						
			Desgaste de rodillos	Rolura del rodillo o fisuramiento	8	Por mala lubricacion y paso del tiempo	3	No hay	No hay	6	144	Que el material de fabricación del rodillo sea	Manib. Mecanico						
4	Estructura	Soporta el peso de la banda	Desgaste de pintura	Desgaste de pintura, oxidacion de la placa	3	No transporta el material adecuado (HBI o DR)	2	No hay	OE de mantenimiento preventivo	1	6	Limpeza y pintura de la estructura de la banda	Manib. Mecanico						
			Desgaste de la placa	Rolura de estructura de la banda	8	Corrosion del material transportado y polvo con el paso del tiempo	2	No hay	OE de mantenimiento preventivo	1	16	No tener bajo nivel el silo para evitar impactos	Manib. Mecanico						
5	Motorreductor	Reducir la velocidad y ofrecer un par mayor	Tornillos desgollados	Vibracion en el sistema	5	Alojamiento de la tornilleria por vibracion o impactos	2	No hay	OE de mantenimiento preventivo	2	20	Verificar ruidos extraños y torque de la tornilleria	Manib. Mecanico						
			Calentamiento	Daños en el reductor	8	o se lubrica adecuadamente	2	No hay	OE de mantenimiento	4	64	Verificar la temperatura del aceite continuamente	Manib. Mecanico						
			Fugas de puesta en marcha	Calentamiento y presion excesiva	7	Adelgazamiento de aceite lubricante	2	No hay	No hay	8	112	Verificar los niveles de aceite continuamente	Manib. Mecanico						
			Fallo en los rodamientos	Daño del rodamiento y perdida de utilidad	7	No limpia bien el rodamiento, impurezas en	2	No hay	No hay	8	112	Verificar los niveles de aceite continuamente	Manib. Mecanico						
			Ruidos extraños	Engranaje suelto	7	Ruidos de rodadura	2	No hay	DE de mantenimiento preventivo	6	84	Revisar si existen ruidos	Manib. Mecanico						
Eje de transmision no gira	Conexión del eje y buje en el reductor rota	No se lubrica adecuadamente	7	Ruido de engranajes sueltos	2	No hay	DE de mantenimiento preventivo	8	112	Revisar si existen ruidos	Manib. Mecanico								
												6	84	Revisar la lubricación del sistema	Manib. Mecanico				

Figura 2. Análisis del modo y efecto de la falla aplicado a bandas

Después de identificar los modos potenciales de falla, se prosigue a determinar la criticidad de cada modo, puesto que, dichos modos generan problemas en el funcionamiento de los equipos, esto a su vez, genera bajo rendimiento, defectos, fallas y paros en los procesos. Para poder estimar la criticidad de cada modo potencial de

falla, a partir de una asignación de una escala cuantitativa. Para establecer la criticidad de un modo de falla se considera la probabilidad de que se presente el riesgo en una escala de 1 a 5 y el impacto que del criterio que está analizando, el punto en donde se interceptan estos dos criterios es la valoración de tipo cuantitativa con la que se mide la criticidad de ese modo de falla. Para cada componente analizado se establecieron rangos de criticidad específicos, dichos parámetros permiten establecer periodos de mantenimiento preventivo para poder asegurar la continuidad de operativa, evitando paros debido a fallos en las partes analizadas. Se establecieron rangos de criticidad para silos de almacenamiento, lubricación de equipos, mantenimiento mecánicos y equipos en general, los parámetros de medición se encuentran en la tabla1.

Tabla 1. Rangos para frecuencia de mantenimiento

Tipo de mantenimiento	Frecuencia de mantenimiento			
	Semanal	Quincenal	Mensual	Bimestral
Equipo general	90 - 150	60 - 89	30 - 59	6 - 29
Mecánico	60-100	40-59	20-39	4-19
Lubricación	30-50	20-29	10-19	2-9
Silos	37-75	25-36	13-24	3-12

Fuente: elaboración propia

Al analizar un equipo se utilizan los rangos que apliquen para cada componente que es sometido a análisis, se realizó el análisis de criticidad en un formato específico para cada equipo y se evalúa el impacto que tiene una falla de acuerdo a su frecuencia (FF), el impacto que tiene sobre la operación del equipo (IO), los costos de reparar el equipo (CR), las implicaciones que tiene para la integridad del personal o instalaciones (IS), el impacto que tiene en el medio ambiente (IA). Obteniendo como resultado valor de criticidad del equipo y se aplica la tabla 1 para determinar el rango de frecuencia para mantenimiento preventivo. En la tabla 2 se muestra un ejemplo de cómo se aplica el análisis de criticidad para cada componente.

Tabla 2. Análisis de criticidad por componente

Banda transportadora									
Componente	FF	IO	CO	IS	IA	Valor criticidad	Criticidad	Frecuencia	Mantenimiento
Banda	2	2	5	2	1	12	44	Quincenal	Mecánico
Rodillos	1	1	4	2	1	9			
Rodillos plancha	1	1	5	2	2	11			
Estructura	2	0	5	3	2	12	17	Mensual	Lubricación
Motorreductor	0	0	4	2	2	8			
Chumacera	0	0	2	2	3	7			

Fuente: elaboración propia

Por último, se inició con la propuesta de acciones para poder disminuir las frecuencias de mantenimientos preventivos en la sección del proceso de fabricación con la que se trabajó. El presente proyecto se enfocó en proponer un programa de mantenimiento, utilizado como base el análisis de criticidad por componente y estimando los siguientes elementos del plan de mantenimiento: estimación de recursos materiales, solución de problemas y cronograma de mantenimientos por equipos.

Resultados y discusión

El resultado de este proyecto es el plan de mantenimiento que es el cronograma de actividades mantenimiento preventivo. Al contemplar el AMEF y el análisis de criticidad se volvieron de suma importancia para obtener la frecuencia del mantenimiento. Para esto se toma en consideración: El tiempo de paro del equipo, el número de

equipos iguales que se tienen, el tiempo que se considera después de la fecha programada para realizar la orden de trabajo. Como se puede apreciar en la figura 3, y con respecto a los análisis de criticidad, se cumple con el objetivo de crear el plan de mantenimiento preventivo para bandas transportadoras y silos en el área de Aditivos al horno de fundición por arco eléctrico, dan como resultados las fechas para realizar una orden de trabajo de mantenimiento preventivo.

DIAGRAMA DE GANTT (cronograma de actividades)																																																	
MANTENIMIENTO PREVENTIVO																																																	
Código:										Realizó:										Ubicación:																													
Supervisor de mantenimiento mecánico:										Revisó:										Turno:																													
Fecha:										Quincenal										Mensual										Progreso:										Área:									
ACTIVIDAD	DESCRIPCION	FECHA DE INICIO	FECHA PROGRAMADA	FECHA MAXIMA DE EJECUCION	NOVIEMBRE																																												
					MA	MI	JU	VI	SA	DO	LU	MA	MI	JU	VI	SA	DO	LU	MA	MI	JU	VI	SA	DO	LU	MA	MI	JU	VI	SA	DO	LU	MA	MI															
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30															
BC101	Mecánicos	Quincenal	03/11/2022	10/11/2022																																													
BC 101	Lubricadores	Quincenal	03/10/2022	10/10/2022																																													
BC 102	Mecánicos	Quincenal	03/10/2022	10/10/2022																																													
BC102	Lubricadores	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
BC103	Mecánicos	Quincenal	03/10/2022	10/10/2022																																													
BC103	Lubricadores	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
BC104	Mecánicos	Quincenal	03/10/2022	10/10/2022																																													
BC104	Lubricadores	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
WBC6	Mecánicos	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
WBC6	Lubricadores	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
WBC5	Mecánicos	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
WBC5	Lubricadores	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
WBC4	Mecánicos	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
WBC4	Lubricadores	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
WBC3	Mecánicos	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
WBC3	Lubricadores	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
WBC2	Mecánicos	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
WBC2	Lubricadores	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
WBC1	Mecánicos	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
WBC1	Lubricadores	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
SLO 6	Mecánicos	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
SLO 5	Mecánicos	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
SLO 4	Mecánicos	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
SLO 3	Mecánicos	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
SLO 2	Mecánicos	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													
SLO 1	Mecánicos	Mensual	18/11/2022	25/11/2022																																													

Figura 3. Cronograma de mantenimiento mensual a banda

El proceso de intervención de equipos se programará con el fin de no evitar el suministro de aditivos al horno de fundición por arco eléctrico y poder brindar mantenimiento a las principales bandas en diferentes meses, esto quiere decir: banda BC01 Y BC02 en un mismo mes, banda BC03 y BC04 en un mismo mes. El siguiente paso es respecto a las bandas pesadoras y los silos: 4 silos y 4 bandas pesadoras (Silo 106, 105, 104 y 103, Banda WBC 6, 5, 4 y 3) son las encargadas de transportar el CDRI o HBI. Los silos y 2 bandas para transportar aditivo CaO (Silo 102 y 101, Banda WBC 2 y 1).

Por consiguiente, se planea dar mantenimiento: Banda transportadora WBC 6 de CDRI y la banda transportadora WBC 1 de CaO así como los silos 106 y 101 en un mismo mes. Para dejar trabajando 3 bandas transportadoras WBC de CDRI y una banda transportadora WBC 2 de CaO. Las bandas transportadoras WBC 5 y 2 y los Silos 105 y 102 en un mismo mes. Para poder ejecutar dichas actividades en tiempo y forma, es necesario poder determinar las necesidades de herramientas, insumos, equipos y recursos humanos para poder ejecutar las actividades programadas, en la figura 4 se muestra como se determina el tipo de trabajo que se ejecutara, la frecuencia con la que se realiza dicha actividad, las herramientas específicas que se van a requerir y los tiempos estimados para ejecutar el trabajo.

		Recursos materiales: equipo, herramientas y recursos humanos.				MANTENIMIENTO MECANICO			
Ubicación:		Fecha:				Mantenimiento mecánico:			
Realizo:		Reviso:							
Nombre del equipo:	Imagen	Trabajo	Frecuencia	Herramientas	E.P.P.	Refacciones	Mano de Obra	Tipo de mantenimiento	Tiempo estimado
S I L O C D R I 1 0 5		Apriete de tuercas y tornillos	6 meses	Martillo. 2 llaves mixtas con dado 17mm.	Guantes, cubrebocas N95 o para polvos, tapones para los oídos, capucha inifuga, gafas de seguridad, botas de seguridad, ropa de trabajo (camisola y pantalon).	Tornillos nuevos cabeza hexagonal No. 17	2 Mecánicos	Mantenimiento Preventivo	3 horas
		Mantenimiento a placas de desgaste	6 meses	Juego de llaves Allen. Llaves mixtas de diferentes tamaños, 10mm, 12mm, 14mm, 16mm, 17mm. Martillo. Cinzel.	Guantes, cubrebocas N95 o para polvos, tapones para los oídos, capucha inifuga, gafas de seguridad, botas de seguridad, ropa de trabajo (camisola y pantalon).	Disco de corte y desbaste. Soldadura 7018,6010 y 6018. Tornillos de gola y cabeza plana.	2 Mecánicos	Mantenimiento Preventivo	4 horas
		Mantenimeinto a soldaduras	6 meses	Pulidora. Martillo. Cinzel. Cepillo de alambre.	Guantes, cubrebocas N95 o para polvos, tapones para los oídos, capucha inifuga, gafas de seguridad, botas de seguridad, ropa de trabajo (camisola y pantalon).	Disco de corte y desbaste. Soldadura 7018,6010 y 6018.	2 Mecánicos	Mantenimiento Preventivo	6 horas

Figura 4. Determinación de necesidades para ejecución de mantenimiento

Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro se recomienda la medición y evaluación de tiempo perdidos, pérdidas por tiempo muertos y tiempo de mantenimiento, para poder determinar el impacto que presente la puesta en marcha del programa de mantenimiento.

Conclusiones

A partir de la aplicación del análisis del modo y efecto de la falla y la determinación de la criticidad de los equipos del área de aditivos en una empresa metalúrgica para poder optimizar el proceso, debido a que, en esta sección del proceso no se cuenta con un programa de mantenimiento, en consecuencia, se generan tiempos muertos, retraso en el proceso de fundición y pérdidas económicas para la organización. A partir de los resultados obtenidos a través de la criticidad de los equipos se debe tomar en cuenta las tareas de mantenimiento que deben recibir más atención dentro de la industria, es por ello que se clasifican en los equipos en color naranja quincenalmente y los equipos de color amarillo mensualmente. Teniendo como referencia los tipos de mantenimientos: lubricación o mecánico para cada equipo y su frecuencia durante el mes. Además, el equipo denominado BC01 es el equipo con mayor criticidad del sistema de aditivos al horno de fundición por arco eléctrico, por lo que, se recomienda darle prioridad para la realizar las tareas de mantenimiento, de igual manera, se deben tener sus refacciones en stock, de no ser así, significaría un paro potencial a la producción debido a los: tiempos de mantenimiento, los costos de mantenimiento y las pérdidas de dinero en la producción.

Esto no quiere decir que los demás equipos no sean atendidos debido a su criticidad las bandas BC03 Y BC04 son críticas, así que al igual que en la banda BC01 se deben tener sus refacciones en stock para los cambios que puedan surgir, debido a mantenimientos preventivos y correctivos que se realicen. Las bandas pesadoras son de mucha similitud, siendo las mismas WBC 1 y 2 se recomienda tener principalmente la banda para el cambio de

esta, así como los rodillos. Las bandas WBC 6 a 3 son iguales por lo que se puede tener un juego de refacciones completo y ocuparlo para cualquiera de estas.

Referencias

- [1] A. Díaz-Concepción, L. Villar-Ledo, A. J. Rodríguez-Piñeiro, and E. Tamayo-Mendoza, "Metodología por criterios de diagnóstico para la gestión de mantenimiento," *Rev. DYNA*, vol. 86, no. 211, 2019.
- [2] S. García Garrido, *Organizacion Y Gestion Integral De Mantenimiento*, vol. 1. 2003.
- [3] F. Ballesteros, "La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial," *Ing. y Gest. Manten.*, vol. 15, no. 78, 2017.
- [4] S. García Garrido, *Ingeniería de mantenimiento.*, vol. 31, no. 360. 2009.
- [5] M. S. Rayme Flores and J. R. Diaz Dumont, "Mantenimiento preventivo para incrementar la productividad en los equipos de medición," *Qantu Yachay*, vol. 1, no. 1, 2021, doi: 10.54942/qantuyachay.v1i1.8.
- [6] C. Shi, "Steel Slag—Its Production, Processing, Characteristics, and Cementitious Properties," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 16, no. 3, 2004, doi: 10.1061/(asce)0899-1561(2004)16:3(230).
- [7] P. Hernández Sampieri, Roberto / Fernández Collado, Carlos / Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*. 2014.
- [8] J. Fernández and R. Mantill, "Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF)," 2019.
- [9] O. Campos López, G. Tolentino Eslava, M. Toledo velázquez, and R. Tolentino Eslava, "Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos , base de datos y criticidad de efectos," *Científica*, vol. 23, no. 1, 2019.

Disminución de los tiempos de preparación en una empresa textil mediante la metodología SMED

A. Calderón Jiménez^{1*}, L. A. Hernández Sanchez¹, S. Gines Palestino¹, J.L. Hernández Mortera², M. E. Gurruchaga Rodríguez²,

¹Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán, Av. Instituto, Av. Tecnológico S/N, Col la Gloria, Cd Serdán Puebla, México, C.P 75520,

²Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Orizaba, Ote. 9, Emiliano Zapata, C.P.94320 Orizaba, Veracruz.

*acalderon@cdserdan.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue reducir tiempos de preparación en área de producción de una empresa textil a efecto de poder aumentar su productividad. Primeramente, se realizó un diagnóstico de la empresa el cual fue basado en la observación y análisis del proceso de producción aplicando diferentes de herramientas de ingeniería industrial, en donde se determinó el área de trabajo. SMED fue la metodología seleccionada para proponer alternativas de solución a la problemática diagnosticada. El uso de esta metodología permitió la identificación de las siguientes alternativas de solución: (1). Dispensador de químicos, donde como consecuencia se redujeron los errores de pesado por parte del operador; (2). Porta-Cargadores, es un dispositivo que ayuda al flujo de la materia prima y además de que suprime la actividad de cargado realizado por el operador; (3) Layout, se realizó una propuesta que reduce los recorridos realizados por el operador en un 43%.

Palabras clave: SMED, Layout, Dispensador, Porta – Cargadores, Cuellos de botella.

Abstract

The objective of this work was to reduce preparation times in the production area of a textile company in order to increase its productivity. First, a diagnosis of the company was made, which was based on the observation and analysis of the production process applying different industrial engineering tools, where the work area was determined. SMED was the methodology selected to propose alternative solutions to the diagnosed problem. The use of this methodology allowed the identification of the following solution alternatives: (1). Chemical dispenser, where as a consequence weighing errors by the operator were reduced; (two). Carrier-Chargers, is a device that helps the flow of raw material and also suppresses the loading activity carried out by the operator; (3) Layout, a proposal was made that reduces the routes made by the operator by 43%.

Key words: (4 word at most separated by commas). (Cursiva, Arial 10)

Introducción

Los sistemas de producción proporcionan la estructura para describir, ejecutar y plantear un proceso industrial con la finalidad de transformar materias primas en productos terminados, buscando realizarlo al menor costo posible, incrementando la calidad del producto y optimizando los recursos utilizados.

En este aspecto el tiempo cobra importancia ya que independientemente del tiempo del procesamiento del bien o servicio se tiene el tiempo de preparación de los equipos, dado que son tiempo perdidos y si son excesivos disminuyen la eficiencia de la producción, esto también es considerado como desperdicio, estos últimos son el objetivo de eliminación o disminución de la manufactura esbelta. La manufactura esbelta (también llamada Toyota Production System), puede considerarse como un conjunto de herramientas que se desarrollaron en Japón inspiradas en parte, en los principios de William Edwards Deming [1].

Las empresas textiles forman una parte muy importante del sector económico [2] y no son la excepción a lo descrito anteriormente y uno de los problemas principales que se presentan es la gran cantidad de cambios de presentación debido a los colores, texturas y tipos de productos que fabrican, lo que incide en el tiempo de cambio entre presentaciones, para reducir estos cambios existe una metodología conocida como SMED (Single Minute Exchange of Dies) el cual es definido como: Es un conjunto de técnicas para desarrollar operaciones de desinstalación y montaje de partes (o modificando configuraciones) de equipo o maquinaria en un tiempo reducido, para mejorar la eficiencia operativa de un proceso que repercute en el sistema global [3].

La “empresa textil” está interesada en reducir sus tiempos de preparación en una de sus áreas de producción ya que la diferencia entre el tiempo teórico calculado y el tiempo real estimado se encuentra cerca del 60% por encima del esperado. Ello trae como consecuencia: baja producción, elevación de costos, cuellos de botellas, ciclos de fabricación largos y altos tiempos de preparación de máquinas.

Es por ello que para reducir este problema se utilizaron técnicas de ingeniería industrial, como son: Cambio de Dispositivos (SMED), Estudio de Tiempos y Movimientos los cuales crean en todo empleado de manufactura una conciencia necesaria de los costos, y quienes están conscientes de ello llevan una ventaja competitiva [4], Diseño Asistido por Computadora (CAD) considerado como un sistema que permite diseñar nuevas partes o productos o modificar otros ya existentes, en sustitución del dibujo tradicional a mano [5]., Distribución de planta, algunas Herramientas básicas de calidad, Poka Yoke como mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace que sean muy obvios para que el trabajador se dé cuenta y los corrija a tiempo [6], Kanban como definido como mecanismo dinámico de comunicación, que tiene la finalidad de coordinar la producción de insumos, partes y componentes, con las necesidades del cliente que demanda estos productos [7]., teniendo como resultado la disminución de los tiempos de cambio entre los lotes y establecer un indicador real para la continua búsqueda de la mejora.

Metodología

El problema expuesto principalmente es reducir el cambio de presentación. Existen técnicas que pueden ayudar a ello. No obstante, SMED es una técnica que ayuda directamente a este tipo de dificultades, basado en la premisa que el cambio rápido acelera la producción. Su metodología no presenta dificultad de entender, sin embargo, para aplicar esta técnica depende de varios elementos que podrían obstaculizar el camino a la implementación y la mayoría se deben al miedo al cambio y a la conocida ceguera de taller.

La metodología que se utilizó principalmente fue basada en la técnica de SMED. Según la bibliografía consultada, dicha herramienta contiene una serie de pasos que tienen como objetivo reducir el tiempo de cambio de presentación, que es el objetivo principal de este proyecto. En la figura 1 se muestra un esquema en donde de manera general se da a conocer la metodología utilizada para este estudio, este estudio fue aplicado a un área de la empresa que se encarga de teñir hilo en capacidades pequeñas que van desde 2 a 8 bobinas.

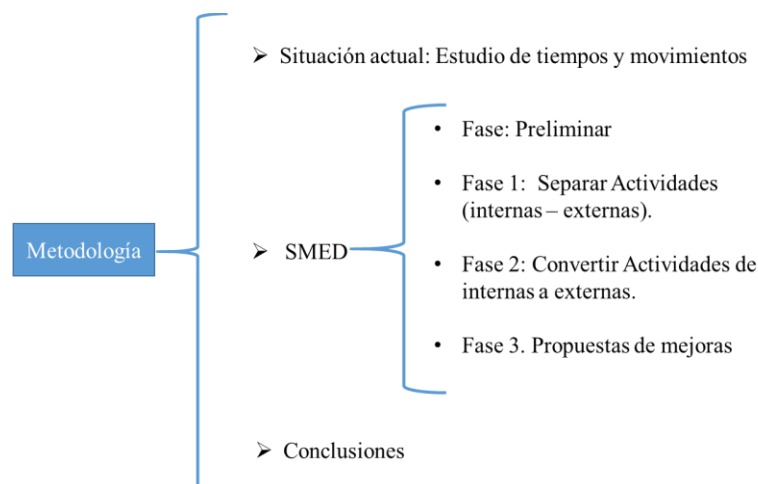


Figura 1. Metodología utilizada en el proyecto (Elaboración propia)

Resultados y discusión

Estudio de tiempos del operador AT

Para realizar el estudio de tiempos que involucra a cada uno de los operadores AT, algunas actividades fueron agrupadas y de esta manera quedara una sola, con el objetivo de poder cronometrar de manera más fácil sin afectar la toma de tiempos, por lo tanto, las actividades quedaron resumidas como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1 Actividades del Operador (Elaboración Propia)

Actividades de operador AT
Revisar Programación
Cargar Porta-Material
Ingresa Porta-Material a máquina de teñido
Inicia Operación paso de agua
Pesado de químicos
Dispensado
Arranca Máquina
Descarga

Cabe aclarar que la recopilación de los datos tomó un tiempo considerable, ya que, el cambio de presentación depende del tiempo de procesamiento programado en cada máquina de teñido, que puede de ir desde un tiempo de 45 min (tiempo corto) hasta un tiempo de 5 horas (tiempo largo). En la tabla 2 se muestra los tiempos capturados, en donde se utilizó el método de estudio de tiempos por cronometro.

Tabla 2 Tiempos estándar del operador (Elaboración propia)

Actividades de operador AT	Tiempo Estándar / min
Revisar Programación	0.196333333
Cargar Porta-Material	0.3995
Ingresa Porta-Material a máquina de teñido	0.5115
Inicia Operación paso de agua	0.1435
Pesado de químicos	1.08675
Dispensado	1.30025
Arranca Máquina	0.12775
Descarga	0.981666667

Implementación de la metodología SMED

A continuación, se presenta el desarrollo de la metodología evidenciando la implementación de la fase preliminar, Fase 1, Fase 2 y Fase 3 respectivamente.

Fase preliminar

En esta fase se tiene que distinguir entre una preparación interna y una preparación externa. Para poder cumplir con este punto fue necesario identificar claramente mediante observación el tipo de preparación de cada una de las actividades, para ello en la Tabla 3 muestra todas las operaciones que el Operador realiza y el tipo de preparación que está llevando a cabo, mediante el método de preparación tradicional (es decir, la forma en la cual el operador AT lo realizaba).

Como se puede observar, el tiempo estimado es de 4.75 min por cambio de lote y en ocasiones de 3.66 min, esto cuando la actividad del pesado de los químicos la cambian a externa. Esto último es poco común ya que sólo se detectó un operador que realiza esta acción de manera recurrente.

Cabe mencionar las evidencias de las acciones realizadas para convertir de las actividades internas a externas, fueron omitidas del documento debido a políticas de privacidad de la empresa, dejando sólo la expresión de los tiempos.

Tabla 3 Preparación tradicional (Elaboración propia)

Actividades de operador AT	Tipos de preparación (Tradicional)	
	Interna	Externa
Revisar Programación	0.20	
Cargar Porta-Material	0.40	
Ingresar Porta-Material a máquina de teñido	0.51	
Inicia Operación paso de agua	0.14	
Pesado de químicos	1.09	1.09
Dispensado	1.30	
Arranca Máquina	0.13	
Descarga	0.98	
Tiempo total	4.75	1.09

Fase 1 Separar actividades

La siguiente fase de la metodología indica que se tiene que separar las actividades internas de las externas. Como resultado un total de tres tareas (ver tabla 4) las cuales se pueden realizar sin problema estando la máquina de teñido en completo funcionamiento. El tiempo total de procesamiento con la segunda fase aplicada es de 3.06 minutos que en comparación con el método tradicional se reduce un 35.44%, es decir reduce un total de 1.68 minutos correspondientes a las actividades externas.

Tabla 4 Separación de actividades internas y externas (Elaboración: propia)

Actividades de operador AT	Tipo de preparación SMED	
	Interna	Externa
Revisar Programación	0	0.20
Cargar Porta-Material	0	0.40
Ingresar Porta-Material a máquina de teñido	0.51	0
Inicia Operación paso de agua	0.14	0
Pesado de químicos	0	1.09
Dispensado	1.30	0
Arranca Máquina	0.13	0
Descarga	0.98	0
Tiempo total	3.06	1.68
% de reducción	35.44%	

Fase 2 Convertir actividades internas en externas.

Guiados en la metodología, para este tercer paso o fase 2 es necesario convertir las actividades internas en actividades externas, para lo cual es necesario identificar que tareas podrían cumplir con esta función sin afectar el correcto funcionamiento del proceso y como consecuencia el producto terminado no se vea afectado, esto con el objetivo de reducir los tiempos de preparación.

La conversión de las actividades se puede realizar basándose en una operación llamada "Next Batch" la cual consiste en que el operador puede iniciar el paso de agua y puede realizar el dispensado de los químicos antes de que se termine de teñir el lote que está por finalizar. Para esta actividad se requiere de un cambio en la programación de la máquina de teñido el cual se puede realizar en una de las opciones que se encuentran en el display del mismo equipo de teñido, por lo que no requiere algún tipo de inversión al implementar esta operación.

En la tabla 5 se muestra las actividades que pueden ser convertidas de internas a externas. El tiempo total de procesamiento con la segunda fase aplicada es de 1.62 minutos que, en comparación con la primera fase, se tiene una reducción del 65.86%, es decir disminuye un total de 3.13 minutos que son correspondientes a las actividades externas.

Tabla 5 Tiempo estimado convirtiendo las actividades de internas a externas (Elaboración: propia)

Actividades de operador AT	Tipo de preparación SMED	
	Interna	Externa
Revisar Programación	0	0.20
Cargar Porta-Material	0	0.40
Ingresa Porta-Material a máquina de teñido	0.51	0
Inicia Operación paso de agua	0	0.14
Pesado de químicos	0	1.09
Dispensado	0	1.30
Arranca Máquina	0.13	0
Descarga	0.98	0
Tiempo total	1.62	3.13
% de reducción	65.86%	

Fase 3 Mejorar todas las operaciones del cambio de presentación.

La fase 3 involucra el mejoramiento de las operaciones para el cambio de presentación, el cual es muy importante porque de esta manera ayuda a facilitar las tareas que el operador tiene que realizar en cada uno de los cambios necesarios para poder hacer la transferencia de un lote a otro. Por tal motivo, tomando en cuenta lo anterior para esta fase se identificaron las siguientes alternativas de solución: (1) Dispensador de químicos, (2) Porta-Cargadores, Layout.

Primeramente, para la primera mejora se analizó el recorrido de los operadores según las actividades observadas, en la tabla 6 se muestran las distancias totales recorridas por cada una de los Operadores, de donde se puede obtener la Tabla de distancias recorridas con el método tradicional de trabajo.

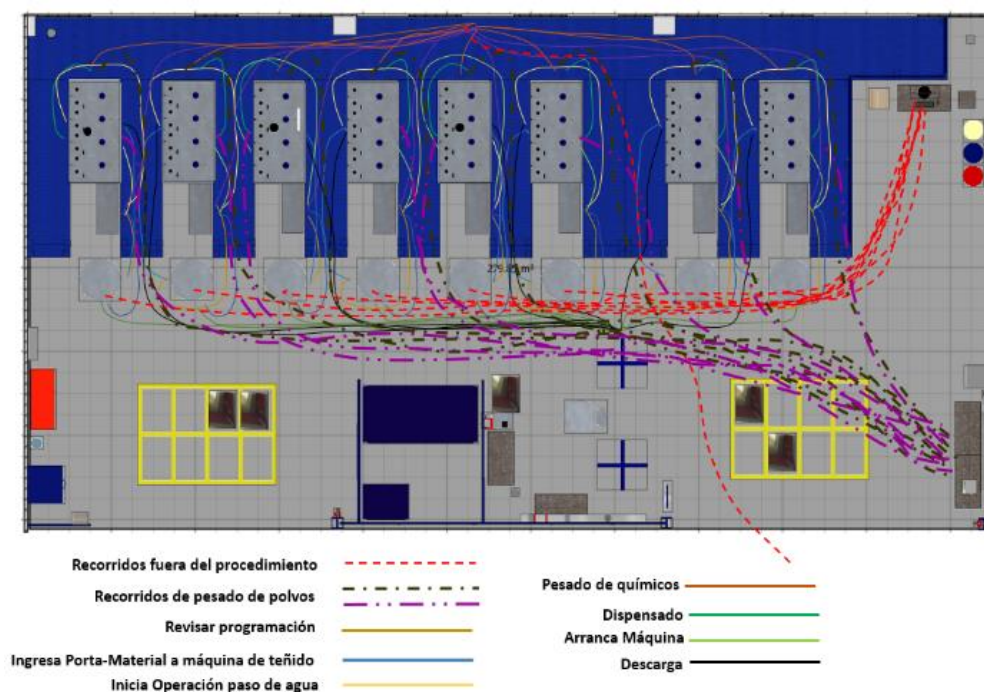


Figura 2 Diagrama de espagueti del Operador AT (Elaboración: propia)

Tabla 6. Recorridos con el método tradicional (Elaboración: propia)

	Total del recorrido (m)	% recorrido
Operador AT 1	140.6	33.36%
Operador AT 2	103.25	24.50%
Operador AT 3	177.55	42.13%
	421.4	

En la tabla 7 se muestran los datos requeridos para realizar un diagrama de Pareto, donde mediante este se logró determinar que la primera actividad que se tenía que dar solvencia era el pesado de los químicos Ver figura 3.

Tabla 7. Distancias recorridas por actividad de todas las máquinas (Elaboración: propia)

Sin orden		Con orden		%	% Acum
Maquinas total	cm	Maquinas total	cm		
Revisar programación	5965	Pesado de químicos	11175	26.5%	26.5%
Cargar porta material	2905	Descarga	8015	19.0%	45.5%
Ingresar porta-material a máquina de teñido	2480	Revisar programación	5965	14.2%	59.7%
Inicia operación (paso de agua) en máquina	5100	Inicia operación (paso de agua) en máquina	5100	12.1%	71.8%
Pesado de químicos	11175	Arrancar la máquina	3700	8.8%	80.6%
Dispensado	2800	Cargar porta material	2905	6.9%	87.5%
Arrancar la máquina	3700	Dispensado	2800	6.6%	94.1%
Descarga	8015	Ingresar porta-material a máquina de teñido	2480	5.9%	100.0%
		Total	42140	Total	

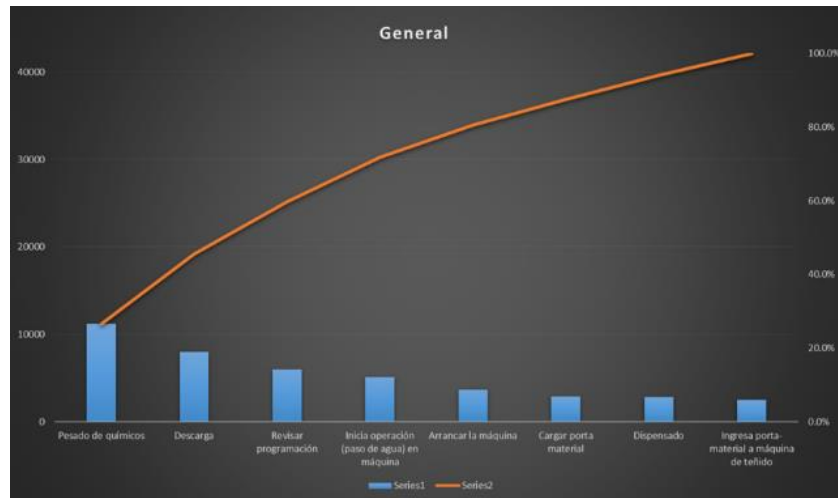


Figura 3. Diagrama de Pareto de recorridos por actividad.

Dispensador

El dispensador es un proyecto el cual surgió en la planta por parte de los diferentes equipos de trabajo que ahí se encuentran laborando, realizando un benchmarking con una empresa de la misma familia de Coats. Para esta actividad se realizó el diseño de un dispensador el cual tiene como función principal que eliminar la actividad de pesado de químicos lo cual como otra consecuencia mejora la exactitud en la fórmula dado como resultado la estandarización en el proceso.

Para cubrir con los aspectos técnicos de dicho dispensador se consideraron las siguientes características: tener un grado de inclinación para la caída de los frascos, un espacio para cada frasco, una entrada, para poder surtir cada canalón, una salida, para poder tomar los frascos sin dificultades, determinación del espacio necesario para

cada canalón, ver diferentes opciones de distribución de químicos, poka yokes visuales para evitar errores de surtido, hacer un estudio para el cálculo de la demanda, cálculo del stock mínimo, cálculo del número de frascos. Se cubrieron dichas características y después de realizar varias alternativas se eligió el diseño que se muestra en la figura 4.

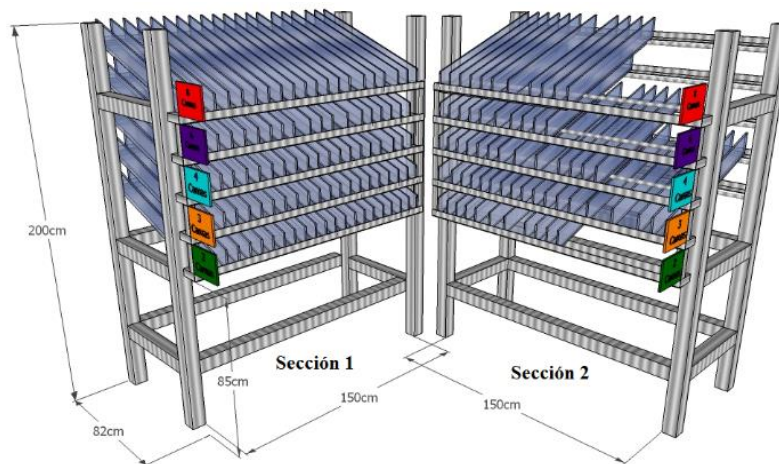


Figura 4 Dispensador de químicos (Elaboración: Propia).

Porta - Cargadores

Para continuar con la fase 3 (donde se realizan mejoras) se estudió el área donde se encontrando diversos problemas como son: que muchos de lotes no se encontraban en el área correspondiente para esta máquina, algunos de los lotes subsecuentes no se encontraban en ninguna parte del carrusel pero sin embargo al revisar la programación del cargador (facilitador de materia prima) ya lo tenía marcado como pesado, no se veía un orden del resguardo del material.

En base al análisis anterior se diseñó un prototipo de porta cargadores el cual su función básica es mantener siempre con materia prima al operador AT, además que ahora sólo tendría que tomar el material y meterlo directamente a la olla de teñido, tomando en cuenta una analogía Kanban.

Se diseñó un prototipo de porta cargadores el cual su función básica es mantener siempre con materia prima al operador, además que ahora sólo tendría que tomar el material y meterlo directamente a la maquinaria, en la figura 5 se muestra dicho dispositivo.

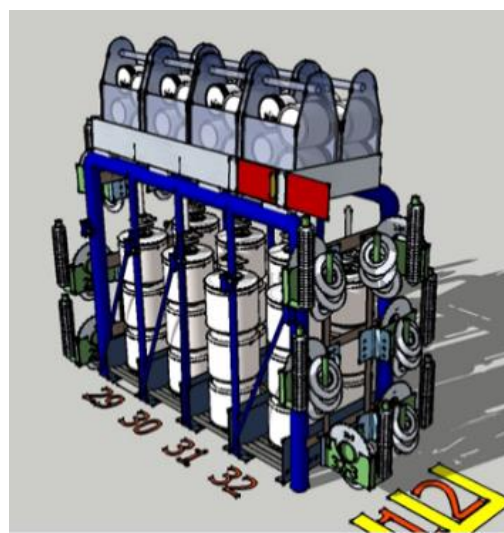


Figura 5 Porta Cargadores

Layout con propuesta de mejoras

Las propuestas fueron generadas mediante lluvia de ideas, seleccionando mediante el método por puntos el que se muestra en la figura 6, la propuesta seleccionada consiste en eliminar la distancia recorrida del pesado de los químicos y la carga de material, y se caracteriza por los siguientes puntos: 1. El operador sacará el material y se dirigirá al porta-cargadores intercambiando un lote sin teñir por el lote teñido, 2. El operador recorrerá la bandera que servirá como indicador tanto como para el Cargador como para el secador, siendo este último el que irá por el hilo teñido a su área de trabajo. 3. De esta manera se aumentará la disponibilidad del operador AT teniendo este mayor tiempo para encargarse del cambio de presentación correspondiente a cada módulo.

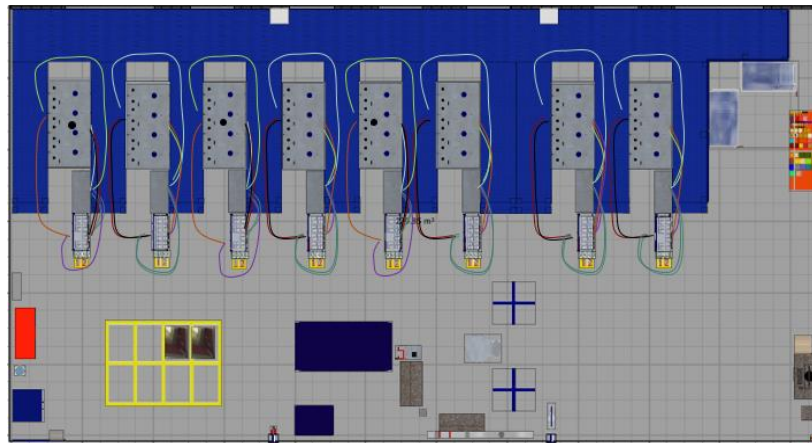


Figura 6 Porta Cargadores

El diagrama de espagueti, muestra claramente una reducción en los recorridos, además de que el orden es evidente en comparación con la figura 2. La nueva distancia total estimada recorrida es de: 241.45 metros por lote recorrido, es decir se redujo en 42.70% la distancia por lote.

Resultados

De acuerdo la aplicación de la metodología se obtuvo los siguientes resultados:

- Fase preliminar: se determinó que existen dos tiempos utilizados por el método tradicional de trabajo de los operadores, los cuales son 4.75 minutos y 3.66 minutos.
- Separar actividades: El tiempo total de procesamiento con la segunda fase aplicada es de 3.06 minutos que en comparación con el método tradicional se reduce un 35.44%, es decir reduce un total de 1.68 minutos correspondientes a las actividades externas. Es notable que existe una reducción significativa en cuanto al tiempo de preparación se refiere.
- Convertir actividades internas en externas: El tiempo total de procesamiento con la segunda fase aplicada es de 1.62 minutos que en comparación con el de la primera fase, se tiene una reducción del 65.86%; es decir, disminuye un total de 3.13 minutos que corresponden a las actividades externas. Es notable que con esta aplicación el tiempo de cambio mejora considerablemente.
- Mejorar todas las operaciones de cambio de presentación: en esta parte se realizaron cuatro propuestas:
 1. Dispensador: con esta se pretende suprimir la actividad de pesado de los químicos y como consecuencia evitar errores de pesado por parte del operador. Se realizaron seis propuestas de diseño para los químicos líquidos la cual la mejor alternativa fue elegida por el método por puntos.
 2. Porta-Cargadores: el porta-cargadores es un dispositivo el cual funciona con la analogía Kanban y está dividida en 5 elementos, este dispositivo propone sustituir el carrusel para tener un mejor orden y evitar errores de localización de material.

3. Layout con propuestas de mejora: aquí se realizaron dos propuestas en donde la primera reduce un total de 22.31% de los recorridos y la segunda reduce un 42.70% de los recorridos. Por lo cual la segunda alternativa fue la seleccionada

Conclusiones

La mayor parte de las empresas que buscan mantenerse en el mercado, requieren de estudios que ayuden a solucionar una gran variedad de problemas que se encuentran dentro los procesos y de esta manera aumentar su productividad. La empresa textil donde se realizó el presente trabajo no es ajena a este pensamiento de mejora continua, es por ello que este trabajo presentó una metodología la cual da solución a uno de los diferentes problemas existentes en esta empresa.

La aplicación del estudio principal consta de dos elementos principales, la toma de tiempo estándar, el cual se ocupó como indicador principal para observar los cambios en base a la aplicación de la metodología y la aplicación de la herramienta SMED en donde cada una de las fases aplicadas dice un resultado significativo tomando en cuenta el objetivo principal que era la reducción de tiempos entre los cambios de presentación.

Para poder hacer realidad la disminución del cambio de presentación existe una amplia variedad de herramientas las cuales ayudan directamente a la solución de dichos problemas, en esta ocasión SMED fue la herramienta protagónica que en conjunto con otras herramientas de ingeniería industrial, justamente complementando la última fase de la metodología SMED (la cual se refiere a mejoras) como lo son: Distribución de planta (LayOut), Paretos, herramientas de diseño CAD-CAM, Poka Yokes, Kamban, etc. lo que lo hace sumativo a la metodología.

Referencias

- [1] M. R. Carreras y J. Garcia, Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad, Ediciones Díaz de Santos, S.A., 2010.
- [2] A. Calderón, «Disminución de los tiempos de preparación de las máquinas de tintorería en la Unidad de Servicio en una empresa textil ubicada en la zona centro del estado de Veracruz»,» ITO, Orizaba, 2016.
- [3] R. Calva, TPS Americanizado: Manual de Manufactura Esbelta, Rafael Carlos Cabrera Calva, 2014.
- [4] F. E. Meyers, Estudios de tiempos y movimientos: para la manufactura, Pearson Educación, 2000.
- [5] L. Krajewski y L. Ritzman, Administración de operaciones: estrategia y análisis, Pearson Educación, 2000.
- [6] L. Rivera, Seis Sigma / Six Sigma: Guía Para Principiantes / Guide for Beginners, Panorama Editorial S.A. De C.V., 2006.
- [7] D. Negron, Administración de operaciones. Enfoque de administración de procesos de negocios, Cengage Learning Latin America, 2009.

Disminución de tiempo improductivo por fallas mecánicas aplicando herramientas básicas de calidad

C. A. Gutiérrez Manuel^{1*}, J. Campos García², H. J. García Ávila³, M. Loera Sánchez⁴, L. Márquez Pallares⁵
^{1,2,3,4,5}Departamento de Ingeniería Industrial. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ensenada. Blvd. Tecnológico #150, Ex Ejido Chapultepec, C.P. 22785, Ensenada, Baja California, México
¹fisicocarlos@ite.edu.mx, ²josefinadelapaz@ite.edu.mx, ³hgarcia@ite.edu.mx, ⁴mloera@ite.edu.mx,
⁵lmrquez@ite.edu.mx.

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

En el presente trabajo se aborda la problemática de los tiempos improductivos ocasionados por fallas mecánicas en una línea de producción de una empresa que fabrica envases metálicos. El propósito del estudio consistió en la implementación de herramientas de básicas de calidad como lo son la hoja de verificación, diagrama de Pareto, lluvia de ideas y diagrama de Ishikawa para la toma de decisiones, con el objetivo de reducir los tiempos improductivos.

En esta investigación se presentan los resultados de la aplicación de una mejora en la reducción de las fallas mecánicas y el incremento en piezas producidas derivado de la disminución de los tiempos improductivos.

Por lo que se concluye que las herramientas básicas de calidad son funcionales para controlar los tiempos improductivos.

Palabras clave: Tiempo improductivo, fallas mecánicas, herramientas básicas de calidad.

Abstract

In the present work, the problem of unproductive times caused by mechanical failures in a production line of a company that manufactures metal containers is addressed. The purpose of the study consisted in the implementation of basic quality tools such as the verification sheet, Pareto diagram, brainstorming and Ishikawa diagram for decision making, with the aim of reducing unproductive times.

This research presents the results of the application of an improvement in the reduction of mechanical failures and the increase in produced parts derived from the reduction of unproductive times.

Therefore, it is concluded that the basic quality tools are functional to control unproductive times.

Key words: Downtime, mechanical failures, basic quality tools.

Introducción

Un factor clave en la industria manufacturera es el uso de herramientas básicas de calidad, como lo son las cartas de control, hojas de verificación, diagrama de Pareto, diagrama de causa y efecto. Estas herramientas apoyan el monitoreo de los procesos industriales. Según Ortiz-González [1], éstas son parte de las herramientas de control estadístico de la calidad y permiten a las organizaciones enfocar los recursos pertinentes en las acciones, para de esta manera alcanzar los resultados esperados por medio del análisis y mejoramiento continuo de sus procesos.

Algunas de estas herramientas son:

Hoja de verificación, también conocidas como hojas de comprobación, son formatos diseñados para recoger los datos. Esto facilita el proceso de la toma de datos. Regularmente tiene la forma de tabla o lista. Posteriormente

son analizados y evaluados dichos datos para así extraer la información requerida y conocer el comportamiento del proceso [2].

Los diagramas de Pareto son gráficos que ponen de manifiesto que, cuando se analizan las causas de un problema, algunas pocas causas son las responsables de su mayor parte [3]. Estos diagramas se aplican a distintas situaciones y su objetivo es establecer las prioridades de mejora. “Pocas fundamentales y muchas triviales” es el principio que rige en el momento de realizar dicho análisis.

La lluvia de ideas es la generación de ideas respecto a un tema o problemática de parte de una o varias personas para encontrar la solución a un problema. Tiene las ventajas de alentar un pensamiento más creativo, mejorar el trabajo en equipo y pueden ser escuchados todos los que tienen algo que aportar para la resolución de la problemática [4].

El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama causa-efecto, lo que se busca es atacar las causas de un problema, y no el efecto [3]. Así, los pasos para realizar un diagrama de Ishikawa son: identificar claramente el efecto, reunir a las personas que puedan aportar ideas del origen de dicho problema, seleccionar las causas que deben aparecer en el diagrama y construir el diagrama.

La técnica de los 5 por qué se emplea durante la fase de análisis del problema. Su objetivo es buscar posibles causas principales. Es una técnica de preguntas, en la cual se requiere que se pregunte “por qué” al menos cinco veces. También es posible tener cinco niveles de detalles de la problemática que se está evaluando. Cuando sea difícil responder al “por qué” se habrá identificado la causa más probable.

La técnica de los 5 por qué, generalmente se realiza junto con la lluvia de ideas y un diagrama de Ishikawa. Cuando se ha identificado la causa, se empieza a preguntar “¿por qué es así?” [5].

Por otro lado, el factor tiempo es considerado de importancia para las empresas ya que su uso ineficiente representa pérdidas monetarias debido a la disminución de piezas producidas en la industria, lo que puede repercutir en pérdida de clientes.

Los tiempos improductivos están relacionados con la ineficiencia en la producción [6].

Es por ello que estas herramientas básicas de la calidad fueron aplicadas a una empresa de giro metal mecánico dedicada a la fabricación de envases para alimentos ubicada en la ciudad de Ensenada, Baja California [7]. La producción de cada empresa puede considerarse como el corazón de la misma, y si la actividad se viera interrumpida, podría dejar de ser productiva [8].

El proceso de la fabricación de envases de la empresa del caso de estudio, depende de maquinaria y capital humano para la transformación de la materia prima. Sin embargo, no está exento de problemas de índole mecánico que ocasionan las fallas y que podrían detener el proceso de producción.

La presente investigación se desarrolló con el propósito de contribuir en la reducción de los tiempos improductivos ocasionados por fallas mecánicas en el área de producción de la empresa anteriormente mencionada. Para ello, se utilizaron las herramientas básicas de calidad, provenientes del control estadístico de proceso. Esto apoyado en un método de análisis utilizando la hoja de verificación para registrar producciones y tiempos improductivos.

Se detectó que, en el área de producción, específicamente en la línea de ensamble número uno, donde se elabora el envase de 603 milímetros de diámetro y con altura de 410 milímetros, existe una eficiencia promedio del 54 %. Considerando que la demanda para dicho envase es de 2.6 millones de piezas mensuales y que representa aproximadamente el 50.2 % de la facturación de la empresa evaluada, es una prioridad aumentar la eficiencia en dicha línea de producción.

En esta línea de producción se tiene un registro histórico del periodo de enero a diciembre del 2018 de 1932.21 horas de tiempos improductivos, del cual el 31 % es provocado por fallas mecánicas. Esto representa, en promedio, pérdidas económicas por \$15 110 527.01 USD por mes.

Metodología

Para el desarrollo del proyecto, se realizaron las siguientes etapas:

Etapa 1.

Recolección de datos. Se desarrolló una hoja de verificación, la cual se aplicó durante el periodo enero-diciembre 2018. Dicha hoja de verificación tuvo el objetivo de encontrar la causa raíz de los tiempos improductivos. Con la información obtenida, se realizó un diagrama de Pareto graficando las distintas causas de los tiempos improductivos, con lo que se obtuvo que las *fallas mecánicas* son la principal causa de dichos tiempos improductivos. Como parámetro se utilizó el factor de eficiencia para medir la efectividad de la línea.

Etapa 2.

Lluvia de ideas y diagrama de Ishikawa. Las áreas de producción, calidad, mantenimiento y planeación, formaron un grupo multidisciplinario. Se realizó una lluvia de ideas para hallar la solución a la problemática de las fallas mecánicas. De estas reuniones se desprende el diagrama de Ishikawa, en donde se encontró la causa raíz del problema del tiempo improductivo debido a las fallas mecánicas: la probadora de fugas (también conocida como probadora).

Etapa 3.

Se aplicó la herramienta de los 5 por qué partiendo de la causa raíz identificada, la falla mecánica en la probadora de fugas.

Las conclusiones obtenidas de dicho análisis fueron las siguientes:

- Verificar la posibilidad de cambio o actualización de la máquina probadora de fugas.
- Coordinar las áreas de mantenimiento y producción para realizar mantenimientos sin afectar el proceso.
- Revisar el programa de inducción al puesto.
- Curso a supervisores para manejo efectivo de personal.
- Revisar qué tanto influye el material de sustitución en la maquinaria.
- Planeación. Verificar pedidos para solicitar material completo y no utilizar lámina de sustitución.
- Revisar la política de la empresa y analizar si se puede comprar materiales con otros proveedores.

Etapa 4.

Una vez realizados los análisis, se decidió cambiar y actualizar la probadora de fugas, así como una mantener una coordinación efectiva entre las áreas de mantenimiento y producción para mejorar el proceso.

Etapa 5.

Después de implementar las acciones determinadas en la etapa 4, se realizó nuevamente la etapa de recolección de datos con la hoja verificación. Esto se realizó durante el periodo enero-julio de 2019 y los resultados se compararon con el periodo de enero-diciembre 2018.

Resultados y discusión

Se empleó un diagrama de Pareto para identificar el porcentaje más alto y el más bajo de tiempo improductivo por fallas mecánicas, así como las causas de las mismas. En la figura 1, Diagrama de Pareto de fallas mecánicas, enero – diciembre 2018, muestra las tres causas principales de fallas: falla mecánica en la máquina probadora, falla mecánica en el sistema de transporte y falla mecánica en acordonadora, que representan el 80% del total de las fallas, con lo que, en caso de disminuirlas o eliminarlas, es posible elevar el número de piezas producidas.

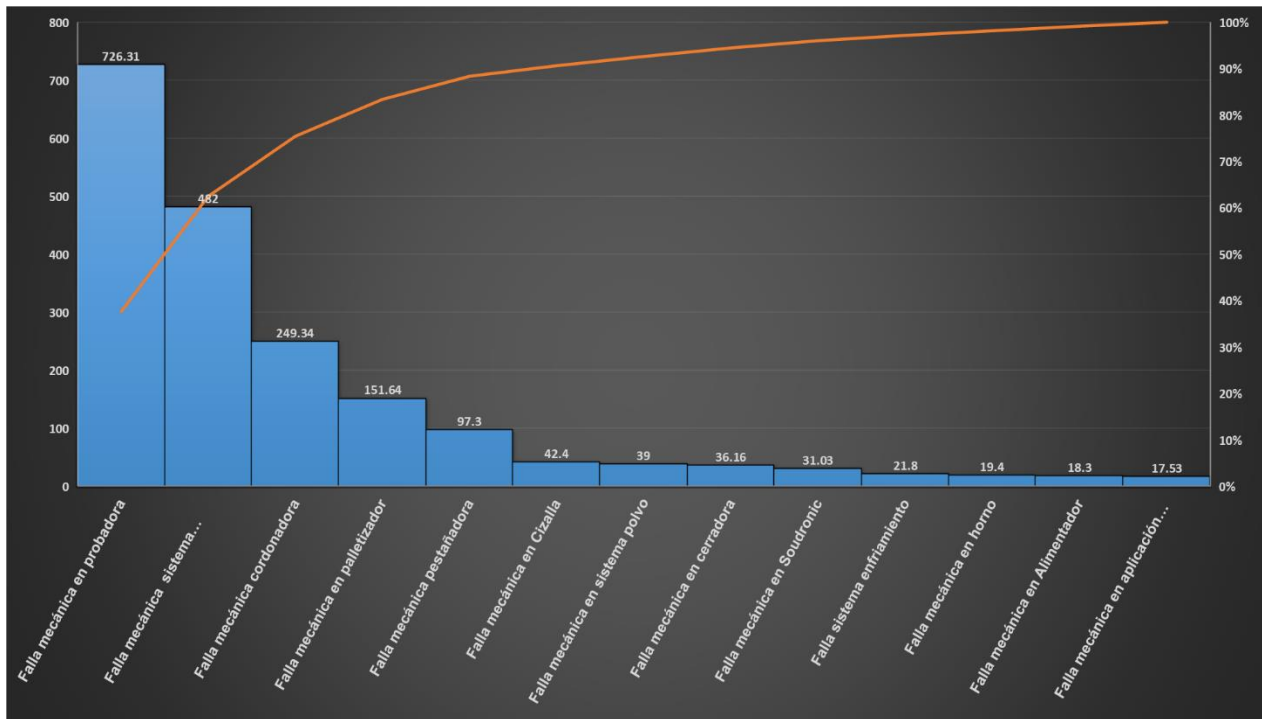


Figura 1. Diagrama de Pareto de fallas mecánicas, enero – diciembre 2018.

A través de la lluvia de ideas se determinaron las distintas causas posibles de la falla mecánica de la probadora de fugas, y se realizó un diagrama de Ishikawa con esta información. En la figura 2, se presenta el diagrama de Ishikawa que se generó.

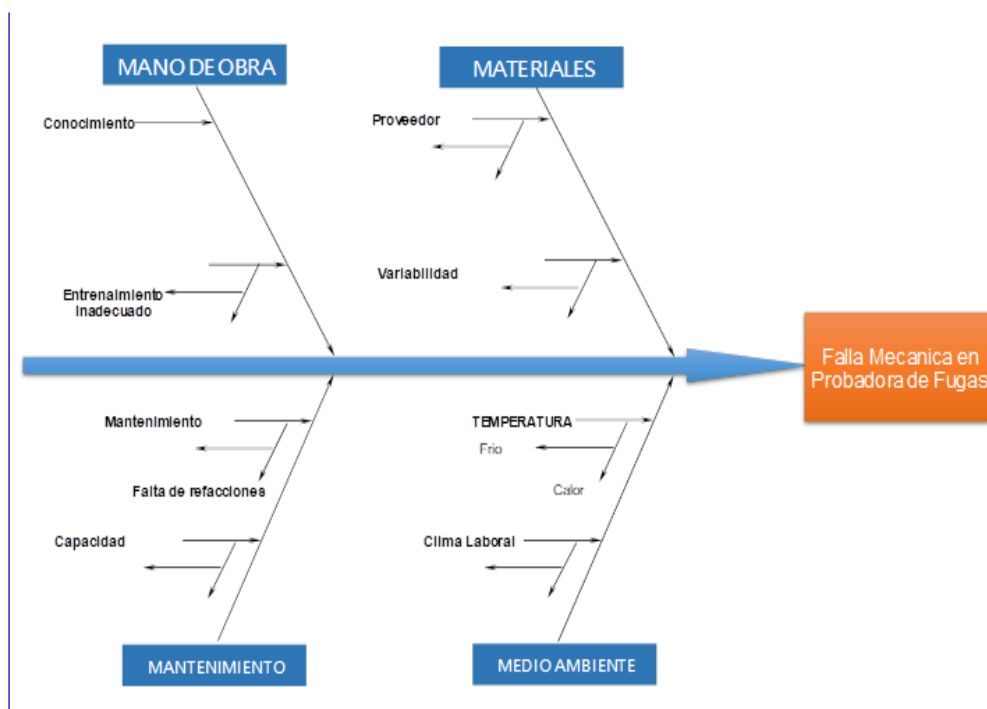


Figura 2: Diagrama de Ishikawa de la causa, fallas mecánicas en probadora de fugas.

En la figura anterior se puede observar las variables que el grupo multidisciplinario consideró que afectan al funcionamiento de la falla en probadora, y del mismo modo, se describe las causas que pueden provocar el fallo. Ver tabla 1.

Tabla 1. Descripciones de las causas de falla de la maquina probadora.

MAQUINARIA	Mantenimiento	Capacidad
	Falta de seguimiento al mantenimiento preventivo, mencionan falta de refacciones por el año y diseño de la máquina.	Capacidad de la máquina comprometida por las condiciones que se encuentra.
MANO DE OBRA	Conocimiento	Entrenamiento inadecuado
	El personal no conoce del todo la labor que debe ejercer al estar trabajando con la maquina probadora cuando ésta sufre un paro no es capaz de reiniciar.	Falta entrenamiento al operador para ejercer su labor de rutina y que se aproveche el desempeño de la máquina ya que no se sigue como se planteó la operación de la maquinaria
MATERIALES	Proveedor	Variabilidad
	Al contar con un único proveedor de la misma filial de la empresa se recurren en materiales con algunas diferencias de especificaciones o sustituciones.	Variabilidad en los materiales por algún defecto de calidad en temple, calibre y grosor que pueden provocar un mal ensamble y este envase no entre en la máquina de prueba. Es por ello que provoca paro de línea.
MEDIO AMBIENTE	Temperatura	Clima Laboral
	La temperatura influye en la época de verano ya que se eleva los grados en el interior de la planta, donde se encuentra la línea de producción afectando a los componentes internos la maquina probadora y provocando paro de línea.	Estado anímico colectivo del personal de la línea de ensamble uno es un factor que interfiere en el rendimiento del personal debido a las condiciones de paros continuos en esa línea de ensamble. Falta sentido de urgencia.

Así mismo, se muestra un análisis mediante la técnica de “los 5 por qué”, partiendo del análisis de causa raíz. En la tabla 2 se presenta dicho análisis.

El resultado arrojó la conclusión de llevar a cabo el cambio de la probadora de fugas.

Una vez implementada estas acciones, se midió el factor de eficiencia para determinar el impacto de las decisiones tomadas. En la figura 3, se muestra el comparativo de los meses enero a julio de los años 2018 y 2019. Como se observa, existe un aumento de la eficiencia al pasar de 56% al 79 % de eficiencia, lo que muestra un incremento de 23%.

Tabla 2. Análisis de los cinco porque de la falla mecánica en probadora

Problema a estudiar	W1	W2	W3	W4	W5	Resultado del análisis
¿Por qué falla la máquina probadora?	Porque, le falta mantenimiento	¿Y porque le falta mantenimiento? R. Porque faltan refacciones por el modelo y diseño de la máquina.	¿Y porque faltan refacciones? R. Porque el sistema es obsoleto y por la urgencia de producción	¿Y porque el sistema es obsoleto y urge la producción siempre? R. Porque no se ha actualizado.	¿Y porque no se ha actualizado? R. Por falta de recursos, por la centralización de la empresa.	1. Coordinar al área de mantenimiento con producción para realizar mantenimientos sin afectar el proceso. 2. Verificar la posibilidad de cambio o actualización de la maquina probadora de fugas.
¿Por qué falla la máquina probadora?	Porque, la capacidad de la maquina está comprometida	¿Y porque la capacidad de la maquina está comprometida? R. Porque la maquina es anticuada.	¿Y porque la maquina es anticuada? R. Porque falta modernizarse.	¿Y porque falta modernizarse? R. Por falta de recursos	¿Y porque falta recursos? R. Por la centralización de la empresa.	1. Verificar la posibilidad de cambio de maquina o bien actualizar la misma.
¿Por qué falla la máquina probadora?	Porque, el personal no conoce su labor en la línea de ensamble	¿Y porque el personal no conoce su labor en la línea de ensamble? R. Porque no se le explica al ingresar a la empresa sus actividades a desempeñar solamente labores generales	¿Y porque no les explican al ingresar a la empresa sus actividades a desempeñar? R. Porque urge la producción y los envían a piso rápido	¿Y porque urge la producción y los envían a piso rápido? R. Porque falta personal y está atrasada la producción	¿Y porque Falta personal y está atrasada la producción? R. Porque se desesperan y no entienden el funcionamiento de la maquina	1. Revisar el programa de inducción al puesto. 2. Curso a supervisores para manejo efectivo de personal
¿Por qué falla la máquina probadora?	Porque, al operador le falta entrenamiento	¿Y porque al operador le falta entrenamiento? R. Porque ingresa rápido al área de producción	¿Y porque ingresa rápido al área de producción? R. Porque necesita entrenarse y entender el funcionamiento de la maquina	¿Y porque necesita aprender a manejar la maquina? R. Porque es complicado el funcionamiento se ocupa tiempo	¿Y porque esta difícil operarla y se ocupa tiempo? R. Porque es un modelo antiguo y obsoleto	1. Verificar la posibilidad de cambio de maquina o bien actualizar la misma. 2. Extender el programa de entrenamiento al nuevo personal.
¿Por qué falla la máquina probadora?	Porque, hay variabilidad en los materiales	¿Y Porque hay variabilidad en los materiales? R. Porque se utiliza hoja de sustitución	¿Porque se utiliza hoja de sustitución? R. Porque no hay materiales	¿Porque no hay materiales? R. Porque no se pidió suficiente lamina para el proceso	¿Y porque no se pidió material suficiente? R. Porque fallo en pronostico	1. Revisar que tanto influye el material de sustitución en la maquinaria 2. Planeación verificar pedidos para pedir material completo y no utilizar lamina de sustitución
¿Por qué falla la máquina probadora?	Porque, solo hay un proveedor de hoja procesada	¿Y porque solo hay un proveedor de hoja procesada? R. Por políticas de la empresa				1. Revisar la política de la empresa y analizar si se puede comprar materiales en con otros proveedores.
¿Por qué falla la máquina probadora?	Porque, el clima laboral afecta	¿Y porque afecta el clima laboral? R. Porque el equipo no es el adecuado para hacer el trabajo	¿Y porque el equipo no es el adecuado para hacer el trabajo? R. Porque falla a cada instante.	¿Y Porque falla a cada instante? R. Porque falta recursos para actualizarse		1. Verificar la posibilidad de cambio o actualización del sistema de probado de envases

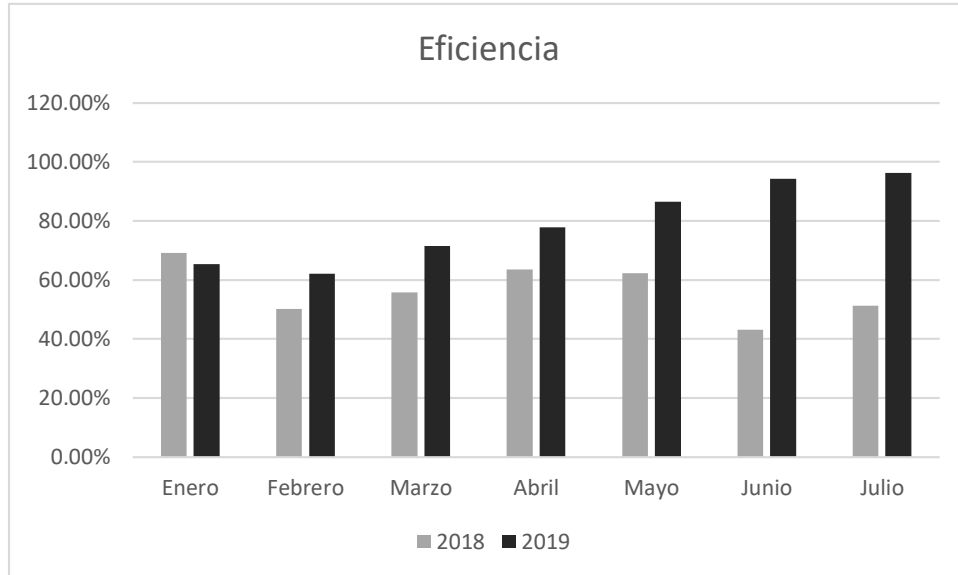


Figura 3: Comparativo de eficiencia enero-julio de los años 2018 vs 2019.

Trabajo a futuro

Es importante continuar el estudio de los tiempos improductivos ya que al tomar decisiones adecuadas basados en el análisis anterior se puede mejorar los resultados en la mejora de tiempos de producción.

Conclusiones

Los tiempos improductivos de enero a julio del 2018 fueron de 1018.70 horas y fueron reducidos a 344.93 horas durante el mismo periodo del 2019.

El mayor número de estos tiempos improductivos son ocasionado por fallas mecánicas, que podrían evitarse con la actualización constante de los equipos productivos, como fue el caso de la máquina probadora de fugas, y teniendo una mayor coordinación entre el área de mantenimiento y producción. Esto para la aplicación de un mantenimiento preventivo programado, en sábados por la tarde y domingos, para que esto no afecte la producción.

Por otra parte, el departamento recursos humanos debe revisar y mejorar su programa de inducción al puesto para personal de nuevo ingreso, esto con el fin de que el personal conozca sus labores y se desempeñe adecuadamente en el área de producción. En esa misma línea se propone un programa de administración efectiva del personal y liderazgo para los supervisores de producción con el fin de desarrollar competencias de liderazgo, delegación, escucha, planificación y organización además de trabajo en equipo.

Esto debido a que, en el análisis previo de las herramientas básicas de calidad, se demostró poco trabajo en equipo de parte del personal de producción. También se observó reactividad en el ambiente laboral del proceso de producción de la línea de ensamble analizada.

Agradecimientos

Se agradece las facilidades otorgada por la empresa para la implementación de esta investigación.

Referencias

- [1] Y. C. Ortiz-González y I. M. González-Gaitán, «Control estadístico de procesos en organizaciones del sector servicios,» *Respuestas*, vol. 23, nº S1, pp. 42-49, 2018.
- [2] P. López lemos, *Herramientas para la Mejora de la Calidad*, España: Fundación Confemetal, 2016.
- [3] A. Prat Bartés, X. Tort-Martorell Llabrés y P. Grima Cintas, *Métodos estadísticos: control y mejora de la calidad*, España: Universitat Politècnica de Catalunya, 2015.
- [4] Atlassian. The Workstream, «Atlassian. The Workstream,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.atlassian.com/es/work-management/project-collaboration/brainstorming>. [Último acceso: 12 05 2022].
- [5] Asociación Española para la Calidad (AEC), «Asociación Española para la Calidad (AEC),» 2019. [En línea]. Available: <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/5-porque>. [Último acceso: 12 05 2022].
- [6] M. L. Vergara Apolinario, G. E. Estupiñán Vera y L. G. Cañizares Vásquez, «Diagnóstico de la disminución del tiempo improductivo mediante la aplicación de las 5'S para el mantenimiento y operación de una imprenta KOPPERS 5,» *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, vol. 1, nº 4, pp. 45-59, septiembre 2017.
- [7] «Industrial News. Revista electrónica Tijuana. Mexicali. Ensenada. Baja California. San Diego, California EE.UU.,» [En línea]. Available: <http://www.industrialnewsbc.com/>. [Último acceso: 28 agosto 2018].
- [8] S. Ouaret, J.-P. Kenné, A. Gharbi y V. Polotski, «Age-dependent production and replacement strategies in failure-prone manufacturing systems. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B,» *Journal Engineering Manufacture*, vol. 231, nº 3, pp. 540-554, 2017.

Análisis de costos y producción de jabones a partir del aceite residual en el Instituto Tecnológico de Ensenada

L. Márquez Pallares ^{1*}, J. Aguila Muñoz ², C. A. Gutiérrez Manuel ¹, J. Campos García ¹, J.P. Vite Frías ¹
¹Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Ensenada Imarquez@ite.edu.mx, ² Conacyt, Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México jnaquilaii@gmail.com

Área de participación: Ingeniería industrial

Resumen

El aceite utilizado para la preparación de alimentos se convierte en un residuo contaminante para el agua y el suelo. En este trabajo se calculó el índice de saponificación del aceite residual generado en la cafetería del Instituto Tecnológico de Ensenada, por un método estandarizado (AOAC) con el que se realizó el proceso químico denominado saponificación en frío, generando 10 jabones sólidos de 100 g por cada litro de aceite residual. Los jabones se adicionaron con ácido cítrico y lauril sulfato y se determinó la mejora en pH y cantidad de espuma por un análisis de varianza logrando tener características similares a los jabones comerciales. Por medio de una dilución 1:3.6 (p/v) del jabón sólido en agua se produce 1 litro de jabón líquido, con un costo aproximado de 26 pesos generando un ahorro aproximado del 60% del gasto de compra de jabón líquido comercial en el Instituto Tecnológico de Ensenada.

Palabras clave: aceite sucio, jabón líquido, pH, acidez.

Abstract

The oil used for food preparation becomes a polluting waste for water and soil. In this work, the saponification index of the residual oil generated in the cafeteria of the Instituto Tecnológico de Ensenada was calculated, by a standardized method (AOAC) with which the chemical process called cold saponification was carried out, generating 10 solid soaps of 100 g per each liter of residual oil. The soaps were added with citric acid and lauryl sulfate and the improvement in pH and amount of foam was determined by an analysis of variance, achieving similar characteristics to commercial soaps. By means of a 1:3.6 (w/v) dilution of the solid soap in water, 1 liter of liquid soap is produced, with an approximate cost of 26 pesos, generating an approximate saving of 60% of the purchase cost of commercial liquid soap in the Instituto Tecnológico de Ensenada.

Key words: dirty oil, liquid soap, pH, acidity.

Introducción

Las grasas y aceites alimentarios son sustancias hidrofóbicas, insolubles en agua, distribuidas en el reino animal y vegetal; están compuestas de una molécula de glicerol y tres moléculas de ácidos grasos, siendo denominadas comúnmente como triglicéridos. Los aceites son utilizados durante el proceso de cocción de alimentos principalmente en frituras en el que pierden sus propiedades físico-químicas, lo que limita su reutilización, por lo que se convierten en un residuo con alto potencial contaminante [1].

Se estima que más de 10 millones de toneladas de aceite vegetal de desecho se generan en el mundo cada año, un restaurante puede llegar a originar 50 litros o más al mes y por cada litro de aceite vertido indiscriminadamente se contamina alrededor de 1000 litros de agua, una vez en los ríos o en el mar, el aceite vegetal usado altera la correlación del oxígeno y agua, ya que se crean natas difíciles de eliminar que impiden el paso de la luz y el intercambio de oxígeno entre el aire y el agua, lo que altera los ecosistemas acuáticos poniendo

en peligro múltiples especies de animales y plantas [2]. Una de las mejores alternativas para el aprovechamiento de los aceites residuales es la conversión a jabones por medio del proceso de saponificación, que consiste en la formación de sales de potasio y sodio a partir de la hidrólisis alcalina de grasas naturales [3]; para ello es necesario realizar los cálculos del índice de saponificación que es la cantidad en miligramos de un álcali que se necesita para convertir un gramo de determinado aceite o grasa en jabón. Para los aceites que se conoce su composición química como el de oliva, coco, cártamo etc., se tienen tablas e incluso calculadoras de saponificación que indican la cantidad de hidróxido necesario, la cantidad de agua requerida para el proceso y algunas incluso muestran las características que tendría el jabón como cantidad de espuma, porcentaje de limpieza y hasta el cálculo del índice de yodo [4], sin embargo, para una mezcla de aceites residuales sometidos a diferentes tratamientos de temperatura en la cocción de alimentos y frituras no es posible utilizar estas herramienta debido a la degradación en su estructura y por tanto se hace necesario el cálculo del índice de saponificación y las pruebas experimentales de adición de cítricos para la disminución de pH y sulfatos que igualen o mejoren las características de los jabones comerciales; siendo este el objetivo principal del estudio, además de conocer los costos de producción para saber el impacto económico del proceso en el Instituto Tecnológico de Ensenada, donde se generan semestralmente 40 litros del residuo aceitoso en la cafetería.

Existe información acerca del recicle de aceite vegetal por el proceso de saponificación de aceites residuales principalmente en países como Ecuador [5], Perú [6] y Colombia [7]; en México, se están llevando a cabo acciones de reciclado como la realizada por la empresa Biofuel que se dedica a la recolección y reciclaje de aceite vegetal para usarlo en la producción de biodisel desde el 2015, sin embargo del proceso de saponificación existen pocos trabajos de tesis como el realizado en el Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez en el que realizaron jabones a base de miel de y abeja y propóleos; más recientemente Eulogio Francisco *et al* [8] hicieron un estudio de factibilidad para la realización de jabones artesanales en una región de Acapulco Guerrero en la que hicieron también la capacitación a las mujeres indígenas. Por lo que este trabajo al realizarse dentro de una institución de educación superior es precedente para que en otras Instituciones tecnológicas adapten el proceso de saponificación y se evite la mala disposición de los aceites residuales logrando además la capacitación del alumnado para la aplicación de la técnica en su entorno evitando la contaminación de agua y/o suelo; generando además ahorro en la compra de productos para la limpieza de manos.

Metodología

Durante el semestre 2022-1 se realizó la colecta del aceite generado en la cafetería del Instituto Tecnológico de Ensenada en garrafones de 20 litros y conservados en un lugar fresco.

Cálculo del Índice de saponificación

Se mide el índice de saponificación según el método 920.160 de la AOAC [9]. Para la preparación de la solución alcohólica de hidróxido de potasio, se pone a reflujo por 30 minutos 1.2 litros de alcohol etílico con 10 g de KOH y 6 g de aluminio granulado, pasado el tiempo se inicia el proceso de destilación desechando los primeros 50 mL. Se disuelven en la solución alcohólica otros 40 g de KOH utilizando un baño frío asegurándose que la temperatura no rebase los 15 °C. Se mantiene la solución en un recipiente color ámbar para su conservación.

Se colocan 5 g de la muestra de aceite en un matraz Erlenmeyer, se le agregan 50 mL de la solución alcohólica de hidróxido de potasio y se pone a reflujo en un baño María hirviente, agitándolo frecuentemente, la saponificación se prolonga de 30 a 60 minutos para que sea completa; se deja enfriar y se agrega 1 mL de solución indicadora de fenolftaleína al 1.0 % para realizar la titulación con ácido clorhídrico 0.5 N. Se hace una prueba testigo usando el reactivo de hidróxido de potasio alcohólico y fenolftaleína (El procesamiento de las muestras y el blanco se realiza por triplicado).

Proceso de saponificación en frío.

Para el proceso de saponificación se filtran 100 g de aceite residual con papel filtro de poro cerrado. Por otra parte, en un vaso de precipitado se disuelven 16 g de hidróxido de sodio (según el índice de saponificación calculado) en 33 ml de agua purificada y se adiciona al aceite, se agita con una mezcladora de inmersión por un minuto y se realizan 5 formulaciones diferentes adicionando 1,2 y 3 g de ácido cítrico para bajar el pH de la pasta, además de 1, 2 y 3 mL de lauril sulfato para mejorar la cantidad de espuma (ver Tabla 2). Se pone la pasta saponificada en moldes y se deja en reposo por 2 semanas para completar la reacción.

Para la prueba de espuma se agregan 150 ml de agua destilada en una probeta de 500ml y se adicionan 3 gramos de jabón sólido (finamente rallado), se agita con fuerza durante 40 segundos y se deja en reposo por 30 minutos. Posteriormente se realiza la lectura del volumen del agua y el volumen de la espuma y por diferencia se obtiene la cantidad de espuma.

Conversión de jabón sólido a líquido y análisis estadístico.

Se fracciona la barra de jabón, se disuelve en diferentes proporciones de agua destilada y se mide la densidad relativa. Se realizan pruebas con los dispensadores de jabón utilizados en el Instituto Tecnológico de Ensenada hasta obtener la densidad necesaria para que el jabón permanezca sin escurrir o causar taponamiento.

Obtenida la proporción, se realiza la dilución del jabón sólido (5 formulaciones diferentes por triplicado) en agua destilada en una plancha de calentamiento con agitación a una temperatura máxima de 70 °C. Se dejan enfriar los jabones líquidos y se realiza la medición de iones H⁺ con un pH metro Mettler Toledo (modelo Five Easy). También se realizó la prueba de pH y determinación de espuma de 3 jabones de marcas reconocidas en el mercado para compararlos con los jabones realizados a base de aceite residual.

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) de un factor a todas las variables, considerando el modelo lineal $y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$, donde y_{ij} es la variable respuesta, μ es la media general, τ_i es efecto del i -ésimo factor y ϵ_{ij} es el error aleatorio y se continuo con una comparación múltiple de medias con el procedimiento de Tukey ($\alpha=0.05$) [10].

Cálculo del costo de jabón

El costo total unitario (CTu) del litro de jabón se calculó con los costos fijos mensuales y costos variables mensuales dividido entre la cantidad de jabones producidos, el porcentaje de ahorro en jabones dentro de la institución se calculó con el promedio del costo de jabones para manos líquidos a granel que existen en el mercado y el costo total unitario del litro de jabón producido.

Resultados y discusión

La cantidad de aceite recolectada en el Instituto Tecnológico de Ensenada en el semestre 2022-1 fue de 40 litros.

El cálculo para la determinación del índice de saponificación se realiza aplicando la siguiente fórmula

$$(\text{mg de KOH requeridos para saponificar 1 g de grasa}) = 28.05 (B-S)/g \text{ de grasa} \quad (1)$$

Donde B= mL de HCl 0.5N requeridos para neutralizar el blanco

S= mL de HCl 0.5N para neutralizar la muestra.

Según la fórmula (1) el cálculo es realizado para utilizar KOH como base para la producción de jabón sin embargo para la saponificación en frío es necesario sustituirlo por NaOH por lo que se modifica el factor de 28.05 (que está relacionado con el peso molecular y la normalidad) por 20 como se muestra en la Tabla1.

Tabla 1. Índice de saponificación. Se utiliza mayor cantidad de hidróxido para saponificar cuando se usa como base fuerte el hidróxido de potasio(KOH).

Tipo de hidróxido	(B)	(S)	(B-S)	factor	mg
KOH	52.8	12.7	40.1	28.05	224.96
NaOH	52.8	12.7	40.1	20	160.40

Se requieren 16 g de NaOH para saponificar 100 g de aceite residual del lote de cafetería recolectado en el semestre 2022-1; teniendo este valor se realiza el proceso de saponificación en frío con diferentes cantidades de ácido cítrico y lauril sulfato para la disminución de pH y aumento de la cantidad de espuma como se resume en la Tabla 3. Sin embargo, para realizar la medición de pH fue necesaria la conversión del jabón sólido a líquido que se realizó según las pruebas de dilución y medidas de densidad relativa como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Relación agua-jabón (v/p) y densidad relativa.

Jabón sólido (g)	Agua (mL)	Densidad relativa	Relación (v/p)
250	1000	0.96	4
260	1000	0.98	3.8
270	1000	0.99	3.7
280	1000	1.01	3.6

Los dispensadores de jabón de pared del instituto requieren líquidos de densidad relativa mínima de 1.0 para evitar escurrimientos; lo que se cumple con la dilución de 280 gr de jabón en 1000 ml de agua destilada.

Tabla 3. Formulación de jabones para la disminución de pH y mejora de la cantidad de espuma.

Formulación	Aceite (g)	NaOH (g)	Ac. Cítrico (g)	Lauril sulfato (mL)	Espuma (mL)	pH
1	100	16			250(10)	10.6 (0.2)
2	100	16	1		250(10)	9.9 (0.1)
3	100	16	1	1	252(7.6)	9.9 (0.1)
4	100	16	2	2	260(8.7)	9.7 (0.1)
5	100	16	3	3	282(7.6)	9.4(0.2)
Jabón comercial 1					352(2.9)	10.5 (0.1)
Jabón comercial 2					305(5)	9.6 (0.1)
Jabón comercial 3					262(2.9)	10 (0.1)

El análisis de varianza (ANDEVA) mostró que los valores de pH de los jabones líquidos, así como la cantidad de espuma tienen diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Se realizó la comparación de los valores por la prueba de Tukey que resume en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis de la cantidad de espuma y pH de los jabones líquidos. Análisis de datos por la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$); los valores con las mismas letras no son significativamente diferentes entre sí.

Formulación	Espuma (mL)	pH
1	250 a	10.6 a
2	250 a	9.9 b
3	252 a	9.9 b
4	260 a	9.7 b
5	282 b	9.4 c
jabón comercial 1	352 d	10.5 a
jabón comercial 2	305 c	9.6 c
jabón comercial 3	262 a	10 b

Se determinó que la cantidad de Lauril sulfato es significativa ($\alpha=0.05$) hasta que se adiciona en 3 ml por cada 100 g de jabón sólido, además el jabón comercial 3 genera la misma cantidad de espuma que un jabón sin adición de lauril sulfato. El análisis de pH demostró que el jabón 1 no tiene diferencia significativa con los jabones sin adición de ácido cítrico y sí hay una disminución significativa del pH en la adición de 1 y 3 g del cítrico. La adición de 1 g de ácido cítrico iguala los valores del jabón comercial 3 y la adición de 3 g iguala los valores del jabón comercial 2. También se observa en la Tabla 4 que los 3 jabones comerciales son significativamente diferentes entre ellos.

Una de las características de los jabones con adición de 3 g de ácido cítrico es que son jabones blandos lo cual favorece su fraccionamiento y dilución para convertirlos a jabón líquido que es lo que más requiere el Instituto por lo que se considera a la formulación 5 como la más adecuada para los cálculos del análisis mensual de costos de los jabones en barra como si se tratara de una línea de producción que transforma diariamente 5 litros de aceite en 50 barras de jabón de 100 g, este supuesto se usó para realizar el comparativo con los jabones comerciales.

Se utiliza la siguiente fórmula para calcular el costo total unitario de una barra de jabón de 100 g.

$$CT_u = \text{Costos totales/Cantidad de unidades} \quad (2)$$

Los costos totales son la suma de los costos fijos mensuales y los costos variables. Los costos fijos mensuales son de 10,550 pesos mientras que los costos variables son de 3,179.

$$CT_u = 13729/1500 = 9.15 \text{ precio mínimo de una barra de jabón de 100 g.}$$

Se requieren 281 g de jabón sólido para generar un litro de jabón líquido, lo que representa un costo de 26 pesos por litro tomando en cuenta el costo del aroma adicionado. Es importante mencionar que no se toma en cuenta el envasado ya que es un jabón que se pone en recipientes reciclados de la propia institución, tampoco se considera el margen de utilidad ya que no se pretende tener una ganancia debido a que es una actividad institucional. El costo promedio de los galones de 3.8 litros es de 247 pesos por lo que el litro de jabón de manos tiene en promedio un costo de 65 pesos, lo cual representa un gasto mayor al 60% al adquirir estos productos.

En cuanto a la diferencia de precios del jabón sólido con los jabones comerciales, no es tan alta como con el jabón líquido ya que las barras de jabón de 100 g en promedio tienen un costo de 11.4 pesos siendo el jabón de este estudio 16% más barato, sin embargo es importante considerar que los jabones producidos contienen la glicerina formada durante el proceso de saponificación la cual es un agente humectante, mientras que en los procesos industriales la extraen del proceso para venderla como un subproducto de mayor valor.

Trabajo a futuro

Es importante considerar la extracción en frío de aceites esenciales a partir de la flora cultivada en el Instituto Tecnológico de Ensenada, para la adición de aromas en los jabones producidos. Como trabajo futuro se pretende realizar la experimentación con la técnica de saponificación en caliente con el objetivo de optimizar el espacio, ya que la desventaja de la saponificación en frío es el reposo de los jabones por 2 semanas. Además se considera la enseñanza y la difusión de esta técnica en otros Institutos Tecnológicos para generar un mayor impacto ambiental.

Conclusiones

Se lograron obtener jabones en sólido a partir de aceite residual generado en la cafetería del Instituto Tecnológico de Ensenada con características similares a los jabones comerciales. Los jabones en barra son diluidos para la producción de jabones líquidos utilizados para el lavado de manos del alumnado y personal del Instituto, cumpliendo de esta forma con la economía circular de este desecho contaminante y ayudando al ahorro económico dentro de la institución. La mejor formulación según la cantidad de espuma y pH es la adición de 3g de ácido cítrico y 3 ml de lauril sulfato para jabón líquido y para jabón sólido la adición de 1 g de ácido cítrico ya que se obtiene un jabón con mayor dureza.

En el desarrollo de este tipo de estudios existe formación de recurso humano con el conocimiento necesario para aplicar la técnica de reciclado de aceite en su comunidad, lo cual conlleva a la disminución de la contaminación de agua y suelo debido a que gran parte de la población no conoce la disposición correcta para este tipo de residuos; la aplicación de la técnica en los hogares impacta en el ahorro e incluso como emprendimiento sería redituable ya que el precio por litro de jabón líquido producido es menor en un 60% a los jabones comerciales, que aunque en el precio no se adicionó el costo del empaque y la utilidad, se tiene gran margen para hacer los ajustes necesarios.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo al Ing. Dario Jaczael Cruz Ríos y al alumno Nelson Adolfo Ruano Jiménez por la aportación de ideas en el diseño del jabón sólido y el empaque, así como a las alumnas Ana Sofía Padilla Colores y Guadalupe Castillo Arredondo, por su aporte en la línea de producción.

Referencias

- [1] P.N. Benjumea Hernández, J.R. Agudelo Santamaría y L.A. Ríos. *Biodiesel. Producción, calidad y caracterización*. Colombia: Universidad de Antioquia, 2009.
- [2] O. Delgadillo, A. Camacho, L.F. Pérez y M. Andrade. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Bolivia: Centro andino para la gestión y uso del agua, 2010.
- [3] L. Wade, *Química orgánica*, Madrid: Pearson educación, 2004, pp. 1162-1168.
- [4] I. Regla, E. Vázquez Vélez, D. H. Cuervo Amaya, A. C. Neri, "La química del jabón y algunas aplicaciones," Revista digital universitaria, vol. 15, no 5, 2014. [En línea]. Disponible en <https://www.revista.unam.mx/vol.15/num5/art38/art38.pdf>
- [5] N. Bombón y M. Albuja, "Diseño de una Planta de Saponificación para el Aprovechamiento del Aceite Vegetal de Desecho", *Revista Politécnica*, vol. 34, no 1, pp. 22, 2014.
- [6] A. Davis Fernández, W. A. Bayona Lozada, J. C. Campos Espinoza, A. L. Cruz Criollo, J. C. Pérez Valdiviezo, "Diseño de proceso para la elaboración de jabón a base de aceite de cocina usado en la Urb. Santa María del Pinar, distrito Piura" Universidad de Piura, junio 2020.
- [7] M. Y. Arias Rodríguez y D. M. Ibarra-Mojica, "Saponificación artesanal de aceites de cocina usados, provenientes del municipio de Charalá", *Working Paper*, no 1, 2018. [En línea]. Disponible en <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2778>.
- [8] E. Eulogio Francisco, D. M. Quintero Romero, and H. Segura Pacheco. "Elaboración de jabones con aceite reciclado por mujeres indígenas de Acapulco para el desarrollo sustentable" en Factores críticos y estratégicos en la interacción territorial desafíos actuales y escenarios futuros, (2020).

- [9] AOAC, Association of Official Analytical Chemists (2005) Official Methods of Analysis. 16th Ed. Washington USA.
- [10] D.C Montgomery. *Design and Analysis of experiments*. 9^a ed. USA. Nueva Jersey: Wiley Hoboken, 2017, pp. 734.

Aplicación de la metodología DMAIC para mejorar un almacén de empresa metalmecánica

A. E. Silvestre Arvizu^{1*}, F. Ortiz Flores^{2*}, J. L. Hernández Mortera², M. L. Arrijo Rodríguez², F. Ortiz López³

¹Alumno MII, División de estudios de posgrado e investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba. Avenida Oriente 9, número 852, col. Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Ver., México.

²División de estudios de posgrado e investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba. Avenida Oriente 9, número 852, col. Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Ver., México.

³Logística, Crown Envases México. Avenida Oriente 107, número 114, col. Bondolito, C.P. 07850, Gustavo A. Madero, CDMX, México.

^{1*}angelar_13@outlook.es ^{2*}fer.ort.f@gmail.com

Área de participación: Ingeniería industrial

Resumen

El presente artículo muestra la implementación de la metodología DMAIC para mejorar el tiempo de despacho y pérdida de *ítems* en un almacén de una empresa metalmecánica. Se decidió el uso de DMAIC ya que sus etapas están bien estructuradas y ofrecen un camino lógico para resolver problemáticas. Con base en esta estructura lógica se definieron dos indicadores de desempeño, posteriormente se midió su estado actual y se analizaron los resultados para determinar causas que los afectaban y, asimismo, posibles soluciones mediante la aplicación de técnicas de la ingeniería industrial. El artículo muestra cómo se aplicaron diversas técnicas en cada una de las etapas de DMAIC y los formatos diseñados para mantener las mejoras, asimismo, muestra una prueba de hipótesis para determinar que las mejoras fueron significativas y una comparación de los datos antes y después de la mejora.

Palabras clave: DMAIC, Almacén, 5's, ABC

Abstract

This article shows the implementation of the DMAIC methodology to improve dispatch time and loss of items in a warehouse of a metalworking company. The use of DMAIC was decided since its stages are well structured and offer a logical path to solve problems. Based on this logical structure, two performance indicators were defined, then their current status was measured, and the results were analyzed to determine the causes that affected them and, likewise, possible solutions through the application of industrial engineering techniques. The article shows how various techniques were applied in each DMAIC stages and the formats designed to maintain the improvements, it also shows a hypothesis test to determine that the improvements were significant and a comparison of the pre and post improvement data.

Key words: DMAIC, Warehouse, 5's, ABC

Introducción

El almacenaje es una necesidad en las empresas, ya que éstas deben compensar los desequilibrios de la oferta y la demanda de productos. Con la finalidad de mantenerse competitivas, las empresas intentan que sus costos de almacenamiento sean menores que el costo por no tener almacén [1]. Para mantener sus costos bajos, un almacén debe cumplir con los requisitos de tener un espacio bien dimensionado que permita ubicar y manipular de manera eficiente los materiales y mercancías [2].

Una buena gestión de almacén puede maximizar la capacidad de almacenamiento, operatividad del almacén, disponibilidad de productos para satisfacer la demanda, cuidado y protección de los productos, entre otros. De igual manera se minimizan las pérdidas por falla de inventario, manipulaciones ocasionadas por exceso de recorridos de personal, espacio utilizado, actividades riesgosas para trabajadores, productos y planta física, entre otras [3].

Para lograr los objetivos de la gestión de almacenes es necesario definir indicadores de gestión adecuados para evaluar su desempeño [4]. Teniendo eso en cuenta, la metodología DMAIC es óptima para realizar proyectos de

mejora en la gestión de almacenes ya que es un proceso estándar para la solución de problemas utilizado en diversas compañías; DMAIC consta de cinco fases: definir, medir, analizar, implementar y controlar [5].

La metodología DMAIC usa técnicas de ingeniería industrial y de mejoramiento que ayudan a llevar una correcta gestión del almacén, una de estas técnicas son las 5 S's. El empleo de esta técnica logra una gestión sistemática de los elementos y materiales en las diferentes áreas de trabajo y con ello genera entornos adecuados para los procesos de la gestión del almacén, de acuerdo con cinco etapas, que conceptualmente podrían lucir sencillas, pero la realidad es que demandan un gran esfuerzo [6].

Por lo tanto, para llevar a cabo las mejoras propuestas para este trabajo se hizo uso de la metodología DMAIC en conjunto con las 5 S's en adhesión al análisis ABC, el cual, de acuerdo con la revisión de trabajos, realizados con anterioridad, ofrece una forma de acomodo y gestión de los materiales y elementos encontrados en el área de almacén basada en ciertos criterios definidos por el usuario o desarrollador del proyecto [7] [8] [9].

Metodología

La metodología DMAIC fue empleada, como base, para mejorar un almacén de una empresa metalmecánica; las etapas realizadas se muestran a continuación:

1. Definir indicadores a evaluar

Para definir indicadores de desempeño se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- **Identificar áreas de oportunidad en la empresa**

Para identificar áreas de oportunidad en la empresa, primeramente, se obtuvo un panorama general de ésta, realizando pláticas y recorridos, con los trabajadores de las distintas áreas y del dueño; el resultado fue el siguiente:

- Se conoció la misión, visión y valores.
- Se determinó que laboran 28 personas, distribuidas en 2 turnos de trabajo y en 8 áreas: dirección general, sistemas, ventas, administración de personal, producción, compras, electrónica y almacén.
- Se determinó la distribución de las 8 áreas de la empresa.
- Se conocieron los procesos realizados en la empresa.
- Se identificaron diversas problemáticas en cuatro áreas de oportunidad.

Posteriormente, se realizó un diagrama de afinidad el cual agrupó las problemáticas identificadas en las cuatro áreas de oportunidad de la empresa: producción (P), compras (C), almacén (A) y electrónica (E); la Figura 1 muestra el resultado obtenido.

ÁREAS DE OPORTUNIDAD DE LA EMPRESA				
	Producción	Compras	Almacén	Electrónica
PROBLEMÁTICAS ENCONTRADAS	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de espacio para realizar actividades y maniobras • Nulo acomodo y desconocimiento de las 5 s. • Mala distribución de la maquinaria. • Falta de programa de mantenimiento preventivo. • Incumplimiento de los tiempos de entrega. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inexistencia de un programa bien definido para la compra de materiales y herramientas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de procedimientos de trabajo. • Pérdida de herramienta y materiales. • Lentitud en el despacho de materiales y herramientas. • Inexistencia de un sistema de acomodo. • Espacio disponible para acomodo de <i>ítems</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos de trabajo riesgosos. • Inexistencia de procedimientos de operación.
	5	1	4	2

Figura 1 Diagrama de afinidad de las problemáticas encontradas en las áreas de la empresa.

• **Seleccionar área de oportunidad**

Para la selección de un área de oportunidad se realizó lo siguiente:

1. Se determinaron 6 factores (1, 2, 3, 4, 5, 6) de interés para el dueño, mediante la aplicación de la técnica de lluvia de ideas, con la participación del personal y dueño. El resultado se muestra en la Figura 2. Estos factores se colocaron en la columna “Factores influyentes” del formato de la Figura 3.
2. Se evaluaron los factores (1, 2, 3, 4, 5, 6) con una escala del 0 al 100, el resultado se muestra en la columna “peso” de la Figura 3.
3. Se evaluó cada factor (1, 2, 3, 4, 5, 6) según el área de oportunidad (P, C, A, E); mediante una escala de vocales (desde la A hasta la U); el resultado se colocó en la mitad superior de la celda, tal como se muestra en la Figura 3.

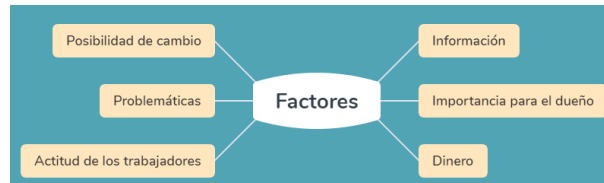


Figura 2 Factores influyentes para la selección del área de oportunidad.

4. Se analizaron los resultados obtenidos de la aplicación del método por puntos (Figura 3) y se determinó que el área de oportunidad, dónde deben concentrarse los esfuerzos de mejora es el almacén, debido a que el almacén tiene la mayor calificación:1995; lo que significa que las mejoras en esta área influirán de manera positiva en las necesidades que externó el dueño, sobre todo en el impacto monetario.

Letra	Significado	Valor numérico
A	Excelente	4
E	Muy bueno	3
I	Bueno	2
O	Mediano	1
U	Mediocre	0

FACTORES INFLUYENTES	Peso	Área de oportunidad			
		Producción	Compras	Almacén	Electrónica
1. Cantidad alta de problemáticas.	100	A 400	O 100	E 300	I 200
2. Accesibilidad de los trabajadores.	95	I 190	A 380	A 380	I 190
3. Posibilidad alta de realizar cambios.	90	O 90	E 270	A 360	I 180
4. Importancia para el dueño de la empresa.	90	A 360	E 270	A 360	E 270
5. Facilidad en la obtención de información del área de oportunidad.	85	E 255	E 255	E 255	I 170
6. Impacto monetario para la empresa.	85	A 340	E 255	A 340	E 255
TOTALES		1,635	1,530	1.995	1,265

Figura 3 Método por puntos para seleccionar área de oportunidad.

• **Definir indicadores de desempeño**

Una vez seleccionado el almacén como área de oportunidad, se analizó la problemática mostrada en la Figura 1, y se determinaron, mediante un análisis en conjunto con el dueño, dos indicadores de desempeño, ya que éstos le generan pérdidas monetarias:

- **Pérdida de ítems.** Debido a las condiciones de desorden, falta de limpieza, inexistencia de procedimientos de operación y control, es común que se pierdan materiales, herramientas y máquinas pequeñas, generando una pérdida monetaria para la empresa.
- **Tiempo de despacho de ítems.** Este indicador tomó en cuenta el tiempo que tarda el almacenista en buscar los ítems solicitados por los operarios.

2. Medir los indicadores de desempeño

Después de definir los dos indicadores de desempeño, que se deseaban mejorar para resolver la problemática del almacén, se procedió a medirlos realizando lo siguiente:

- Se determinó la **pérdida de ítems** mediante las siguientes actividades:
 - Se realizó el levantamiento de todos los artículos que se encontraban en el almacén.
 - Se agruparon todos los artículos en dos categorías: herramientas y materiales.
 - Se comparó lo existente en el sistema *versus* lo encontrado en el levantamiento.
 - Se identificaron las cantidades de materiales y herramientas perdidas.
 - Se multiplicó la cantidad de herramientas y materiales perdidos por su valor monetario. Los resultados de esta operación se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Pérdida monetaria por pérdida de ítems.

Tipo de ítem perdido	Pérdida monetaria total
Herramientas	\$69,582.56
Materiales	\$80,235.69
Total	\$149,818.25

- Se determinó el **tiempo de despacho de ítems** solicitados en el almacén mediante las siguientes actividades:
 - Se determinó la cantidad de mediciones óptimas (tamaño de muestra) para medir el tiempo de despacho, realizando las siguientes actividades:
 - Se definió el marco de muestreo el cual sería la lista de los ítems más solicitados por los operadores al área de almacén.
 - Se tomaron 6 mediciones (n) preliminares aleatoriamente (Tabla 2).
 - Se calculó el tamaño de muestra óptimo con la Ecuación 1, propuesta por Kanawaty [10]. El resultado fue **n=26**.
 - Se realizaron las 20 mediciones faltantes.
 - Se sacó el tiempo promedio de la búsqueda de ítems; éste se muestra en la Tabla 3.

$$n = \left(\frac{40\sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 = \left(\frac{40\sqrt{6(53504) - 562^2}}{562} \right)^2 = 26.24 \approx 26 \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

- n = Tamaño de muestra.
- n' = Número de observaciones del estudio preliminar.
- ∑ = Sumatoria de valores.
- 40 = Constante

Tabla 2 Tiempos de búsqueda preliminares.

Mediciones preliminares (n')	Tiempo de búsqueda (seg.) (x)	Tiempo de búsqueda ² (x ²)
1. Tapón	91	8281
2. Cristal oscuro	85	7225
3. Tornillos	112	12544
4. Buriles	89	7921
5. Gises	107	11449
6. Puntos de golpe	78	6084
	∑x=562	∑x²=53504

Tabla 3 Tiempo de búsqueda promedio.

Tiempo promedio de búsqueda (seg.)
54

3. Analizar los indicadores de desempeño

Para realizar el análisis de los indicadores de desempeño se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- **Identificar causas raíz que afectan a los indicadores de desempeño.**

Para determinar causas que afectaban de forma negativa a los indicadores de desempeño se realizó el diagrama causal de la Figura 4. En este diagrama se muestran causas contenidas en los grupos comúnmente utilizados en los diagramas de Ishikawa: Mano de obra, Medio ambiente, Materiales y Otros. Asimismo, se muestran relaciones de causa efecto (indicadas mediante el inicio y final de una flecha, respectivamente) entre las causas y entre los indicadores de desempeño. Las causas resaltadas en amarillo se identificaron como causas raíz ya que éstas son el origen de la mayoría de las causas identificadas.

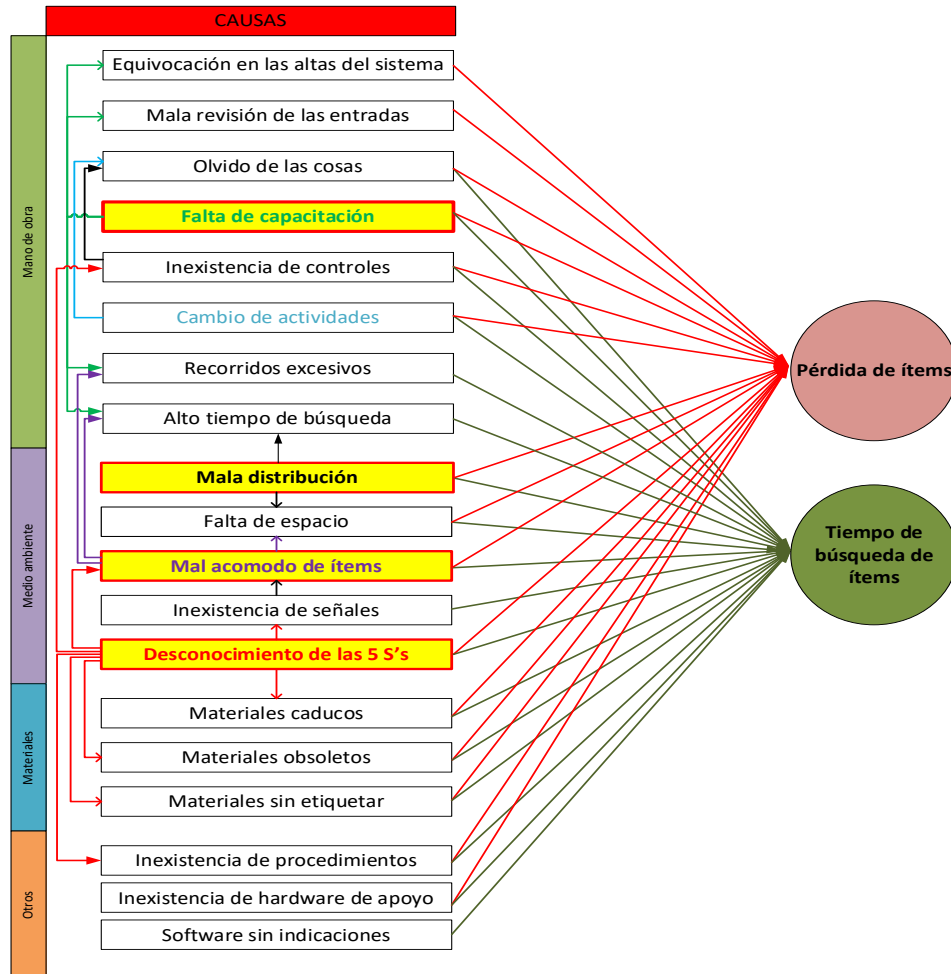


Figura 4 Diagrama para identificar causas raíz que afectan los indicadores de desempeño.

- **Identificar técnicas para mejorar los indicadores de desempeño**

Con la finalidad de identificar de qué forma se podrían resolver las causas raíz identificadas, que afectan a los indicadores en estudio, se conformó un grupo de trabajo entre la encargada del área de sistemas, el auxiliar de producción y el jefe del área de almacén. Este grupo analizó cada causa raíz y propuso, con base en su experiencia y conocimiento, posibles soluciones. Posteriormente, se realizó una investigación para encontrar una técnica de ingeniería industrial que ayudara con la solución propuesta. En la Tabla 4 se muestra el resultado.

Tabla 4 Técnicas que dan solución a las causas raíz que afectan los indicadores de desempeño.

Causas raíz	Problemas o soluciones	Técnicas
Mal acomodo de ítems	• Acomodar los ítems de acuerdo con algún criterio o condición.	• Método SLP. • Las 5 S's. • Análisis ABC.
Falta de capacitación	• Generar programas o campañas de capacitación para los trabajadores.	• Diseño de puestos de trabajo. • Capacitar al personal en labores de almacén.
Desconocimiento de técnicas de organización	• Educar a los trabajadores en términos de organización y limpieza.	• Las 5 S's.
Mala distribución	• Distribuir de manera eficiente el área de almacén.	• Método SLP.
Inexistencia de hardware de apoyo	• Adecuar algunos tipos de hardware como lectores de códigos de barras, QR y equipos de cómputo para los operarios.	• Poka - Yoke.

4. Implementar mejoras

De la Tabla 4 se puede concluir que las 5'S resuelven la mayoría de las causas raíz, por lo tanto, con la finalidad de generar un impacto positivo en los dos indicadores de desempeño se realizaron las siguientes actividades para implementar las tres primeras S's:

- Seleccionar lo innecesario (*Seiri*) mediante las siguientes acciones:
 - Se inspeccionó el área de almacén y se identificaron ítems pertenecientes a dos empresas diferentes: la empresa en estudio y una empresa hermana.
 - Se identificaron todos los ítems pertenecientes a la empresa en estudio.
 - Se dividió el espacio físico del almacén en dos partes, una para cada empresa. La distribución fue generada a través del software Microsoft Visio (Figura 5).
 - Se utilizó el diagrama de flujo que propone Gómez y Verdín [11] (Figura 6), para decidir qué hacer con los productos considerados como innecesarios.
 - Se tomaron acciones para los productos considerados como innecesarios (Tabla 5).

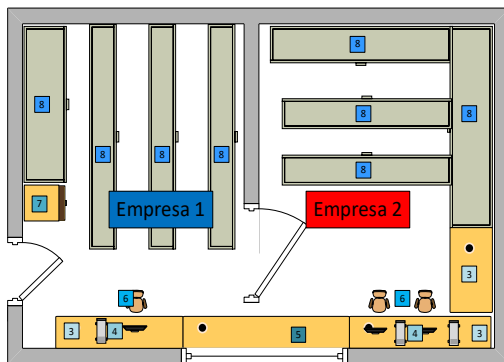


Figura 5 División física del espacio de almacén.

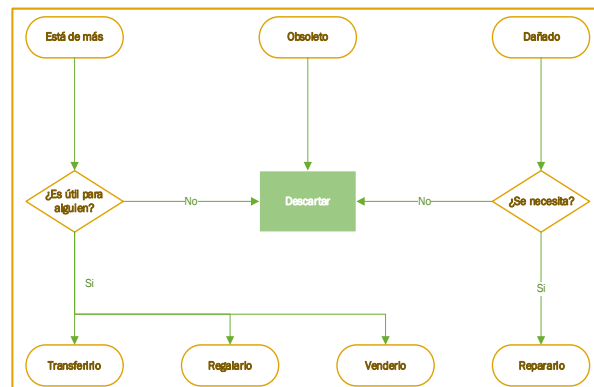


Figura 6 Diagrama de acción para ítems Innecesarios [11].

- Organizar (*Seiton*) del área mediante las siguientes actividades:
 - Se identificaron los ítems más solicitados por los trabajadores. Esta información se obtuvo de los registros de salida de ítems encontrados en el sistema. En la Tabla 6 se muestran de forma parcial.

Tabla 5 Acciones realizadas con ítems innecesarios.

Ítem	Situación	Acción realizada
Discos de corte	Dañados	Descartar
Pinturas	Obsoletas	Descartar
Soldaduras	De más	Transferir
Equipo de protección personal	De más	Transferir
Trapo industrial	De más	Transferir
Extensiones	Dañadas	Reparar
Marros	Dañados	Reparar

Tabla 6 Ítems más solicitados (tabla parcial).

n	Ítem	Frecuencia de uso x día
1	Soldadura	55
2	Trapo	29
3	Disco	28
4	Fundente	19
5	Thinner	16
6	Líquido	12
7	Crayón	8
8	Diesel	8
9	Gas LP	9
10	Esmalte	6

- Se clasificaron los ítems en familias de acuerdo con lo existente en el sistema de la empresa. En la Tabla 7 se muestran las familias y su peso, el cual se determinó sumando la frecuencia de uso de cada uno de los ítems pertenecientes a la familia.
- Se utilizó el análisis ABC para generar un acomodo de las familias de ítems de acuerdo con la frecuencia de uso. La clasificación de las familias se muestra en la Tabla 8.
- Se otorgó a cada familia un color para identificarla de manera fácil (Tabla 8).
- Se agruparon los ítems iguales en contenedores y éstos se etiquetaron.
- Se generó el acomodo de los ítems de acuerdo con el análisis ABC, los más solicitados se localizaron cerca del área de despacho y los menos solicitados fueron ubicados en los lugares disponibles.
- Limpieza (Seiso) del almacén realizando lo siguiente:
 - Se recogieron los ítems encontrados en el piso del almacén.
 - Se vaciaron los anaqueles para limpiarlos y desempolvarlos.
 - Se limpiaron los ítems, con brochas, trapos, estopa y/o thinner, según lo que se necesitara.
 - Se barrió y lavó el piso con jabón.

El antes y el después de estas implementaciones se muestra en las Figuras 7 y 8.

Tabla 7 Peso de las familias de ítems

Familia	Pesos
Abrasivos	30
Aceites y lubricantes	6
Corte y soldadura	12
Elementos de acabado	67
Elementos de fijación	2
EPP	13
Herramientas	90
Material eléctrico	3
Soldadura	75
Varios	34

Tabla 8 Clasificación A, B o C de las familias de ítems.

Familias	Clasificación
Herramientas	A
Soldadura	
Elementos de acabado	
Varios	
Abrasivos	B
EPP	
Corte y soldadura	
Aceites y lubricantes	C
Material eléctrico	
Elementos de fijación	

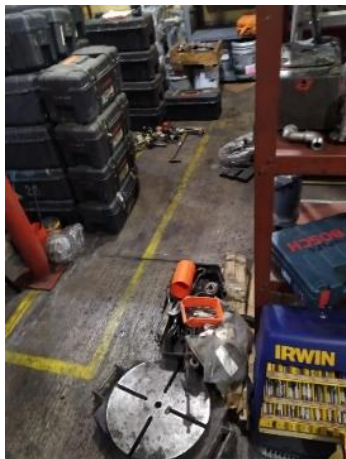


Figura 7 Almacén antes de las mejoras

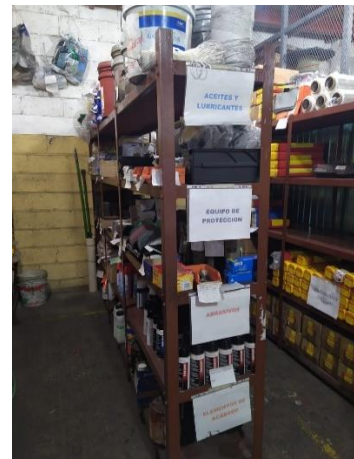


Figura 8 Almacén después de las mejoras

5. Control de las mejoras

Con el fin de mantener la organización y la limpieza del almacén, se generaron los siguientes dos formatos para ayudar a los trabajadores en estas tareas:

- **Formato de evaluación diaria del almacén.** El formato de evaluación diaria del almacén (Tabla 9), contempla factores que deben ser evaluados para garantizar que las condiciones de operación del almacén sigan de acuerdo con las mejoras implementadas.
- **Kárdex para control de existencias.** Con motivo de tener un control sobre las existencias de los ítems se generaron kárdex (Tabla 10). Éstos contienen información de las cantidades, fechas de entrada, salida, el operador que hizo uso de ellos, entre otros datos.

Tabla 9 Formato parcial de evaluación diaria del almacén.

Hoja de Control de Actividades			
Empresa en estudio			
Inspector/a:			Revisión:
Fecha:	Área: Almacén de Materiales y Herramientas		
Ítems Necesarios			
Rasgo por evaluar	Sí	No	Observaciones
El acceso al almacén se encuentra despejado.			
Los pisos del almacén se encuentran limpios y despejados.			
Las herramientas se encuentran en el espacio asignado.			
Las soldaduras se encuentran en su lugar asignado.			

Tabla 10 Kárdex para control de existencias en almacén.

Descripción:							
P	OPERADOR	CANTIDAD	UNIDAD	ENTRADA	FEC. ENTRADA	SALIDA	FEC. SALIDA
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Resultados para el indicador tiempo de búsqueda

Para determinar si los resultados de la aplicación de DMAIC fueron satisfactorios se realizaron las siguientes actividades:

- **Medir el indicador “tiempos de búsqueda” antes y después de las mejoras.** La Tabla 11 muestra la información parcial concerniente a las muestras tomadas para el cálculo promedio de los tiempos de búsqueda antes y después de la implementación de las mejoras.
- **Validación de los resultados.** Para verificar si existió alguna mejora sustancial en los indicadores de desempeño se realizó lo siguiente:
 - Se plantearon las siguientes hipótesis:
 - H₀:** El tiempo de búsqueda después de implementar mejoras (**TBD**) es igual al tiempo de búsqueda antes de implementar mejoras (**TBA**), en otras palabras, TBD = 54 s.
 - H₁:** El tiempo de búsqueda después de implementar mejoras (**TBD**) es menor al tiempo de búsqueda antes de implementar mejoras (**TBA**), en otras palabras, TBD < 54 s.
 - Se estableció el nivel de significancia del 5% para la aplicación de la prueba de hipótesis, ya que el dueño de la empresa lo consideró aceptable.
 - Se determinaron los grados de libertad (n - 1 = 25).
 - Se obtuvo el valor de t de la tabla de la distribución t de *student*.

$$t_{\alpha, n-1} = t_{0,05,25} = 1.708$$

- Se calculó la media de los datos de la Tabla 11 a través de la Ecuación 2:

$$Media = \frac{\sum_{i=1}^n Xi}{n} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n} = 20 \dots \dots \dots (2)$$

- Se calculó la desviación estándar de los datos de la Tabla 11 a partir de la Ecuación 3:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Xi - \bar{X})^2}{N - 1}} = 8.98 \dots \dots \dots (3)$$

- Se calculó el estadístico de prueba, utilizando la distribución t de *student*, debido a que la muestra es menor de 30 [12], con la Ecuación 4:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{20 - 54}{\frac{8.98}{\sqrt{26}}} = -19.30 \dots \dots \dots (4)$$

- Se compararon resultados de la siguiente manera:

$$t_0 < -t_{\alpha, n_x + n_y - 2} \rightarrow -19.30 < -1.708$$

\therefore Con base a la evidencia muestral, se rechaza H_0

Por lo que se concluye que los tiempos de búsqueda después de la implementación de las mejoras, son menores a los que se tenían antes de la implementación de las mejoras.

Tabla 11 Tiempos de búsqueda antes y después de las mejoras.

n	Ítem buscado	Tiempo de búsqueda antes de mejoras (s.)	Ítem buscado	Tiempo de búsqueda después de mejoras (s.)
1	Boquilla	74	Buriles	22
2	Tapón	91	Puntos de golpe	17
3	Cinzel	22	Soldadura	15
4	Reglas	66	Grasa	20
5	Compás de interior	63	Vernier	19
.
.
.
26	Llave Stillson	58	Gises	14
	Tiempo promedio	54	Tiempo promedio	20

Resultados para el indicador pérdida de ítems

Para identificar si los resultados de la implementación de la metodología DMAIC fueron satisfactorios en términos del indicador de pérdida de *ítems* se realizaron las siguientes actividades:

- **Medir el indicador de mejora “pérdida de ítems” antes y después de las mejoras**

La Tabla 12 muestra la información parcial concerniente a la pérdida monetaria causada por la pérdida de *ítems* antes y después de las mejoras.

Tabla 12 Pérdida monetaria antes y después de las mejoras.

Ítem	Cantidad de ítems perdidos antes	Pérdida monetaria unitaria antes	Pérdida monetaria total antes	Cantidad de ítems perdidos después	Pérdida monetaria unitaria después	Pérdida monetaria total después
Llave Allen 3/16	16	12.50	175.00	6	12.50	75.00
Llave Allen 1/4	14	19.50	273.00	3	19.50	58.50
Llave Allen 5/16	13	32.00	416.00	5	32.00	160.00
Llave Allen 5/32	12	85.00	1020.00	4	85.00	340.00
Llave Allen 1/8	8	23.00	184.00	2	23.00	46.00
Espada integral	74	31.90	2360.60	14	31.90	446.60
Gaveta apilable	46	20.60	947.60	16	20.60	329.60
Nudos/Perro 1*	26	270.00	7020.00	11	270.00	2970.00
.
.
Gaveta de plástico	5	33.10	165.50	3	33.10	99.30
	Total		149,818.25	Total		44,996.35

- **Comparación del antes y después de las mejoras**

En la Tabla 12 se muestra una reducción significativa en cuanto a la pérdida monetaria ocasionada por la pérdida de *ítems*. Ésta tuvo una reducción de **\$104,821.90** o lo que es igual un **69.96%**, aunque el objetivo del dueño de la empresa es erradicarla. Este objetivo se considera realista y logvable con trabajos futuros a realizar dentro de las instalaciones.

Trabajo a futuro

Con la finalidad de seguir mejorando el almacén de esta empresa se pueden realizar las diversas acciones de mejora mencionadas en la Tabla 4. De manera puntual, las acciones de mejora son las siguientes:

- Diseñar e instalar Poka-Yokes que ayuden con las tareas de acomodo de *ítems*.
- Diseñar los puestos de trabajo para el área de almacén.
- Dar capacitaciones al personal, en cuestión de los trabajos que deben realizar.
- Adecuar algunos tipos de *hardware*, lector de código de barras o QR y equipo de cómputo para los operarios; que ayuden a realizar de manera más eficiente los trabajos del almacén.

Conclusiones

La metodología DMAIC es una forma útil e intuitiva para realizar proyectos de mejora en cualquier ámbito, ya que cada etapa funciona como base para la siguiente. Gracias a sus primeras tres etapas se determinó que las mejoras debían venir de la mano de las 5 S's, para generar una mejor organización del espacio de almacén y con esto reducir los tiempos de búsqueda de *ítems* y la pérdida monetaria ocasionada por la pérdida de los *ítems* resguardados. Estos beneficios fueron validados por una prueba estadística y la comparación de los indicadores de desempeño antes y después de las mejoras. Es importante mencionar que se podían utilizar otras técnicas como PDCA, A3 u 8D. Sin embargo, se decidió por DMAIC debido a la secuencia lógica de etapas que ofrece para resolver diversas problemáticas.

Referencias

- [1] S. Flamarique, M. Books, Ed. *Manual de gestión de almacenes*. 2019.
- [2] J. J. A. Tejero, E. Editorial, Ed. *Almacenes: Análisis, diseño y organización*. 2008, p. 241.
- [3] A. A. C. Espinal, R. A. G. Montoya, and J. A. C. Arenas, "Gestión de almacenes y tecnologías de la información y comunicación (TIC)," *Estudios Gerenciales*, vol. 26, 2010.
- [4] J. G. A. Posada, "Aspectos a considerar para una buena gestión en los almacenes de las empresas (Centros de Distribución, CEDIS)," *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, vol. 16, pp. 83-96, 2011.
- [5] G. Alukal and A. Manos, Q. Press, Ed. *Lean Kaizen: A Simplified Approach to Process Improvements*, Ilustrada ed. 2006.
- [6] L. Llasaca and W. Angel, "Diseño e implementación de la metodología 5S para mejorar la gestión de almacén de la empresa CFG Investment SAC," Lima, 2019.
- [7] E. Granillo, O. González, I. González, I. Simón, and F. Santana, "Distribución de almacén mediante análisis ABC recursivo," *Coloquio de Investigación Multidisciplinaria*, vol. 8, pp. 797-804, 2020.
- [8] J. Arrieta and F. Guerrero, "Propuesta de mejora del proceso de gestión de inventario y gestión de almacén para la empresa FB soluciones y servicios S.A.S," Universidad de Cartagena, 2013.
- [9] C. A. V. Núñez, "Análisis, diagnóstico y propuesta de mejora en la gestión de inventarios y de almacenes en una empresa del sector gráfico," Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, 2015.
- [10] G. Kanawaty, Limusa, Ed. *Introducción al estudio del trabajo*, 4a. ed. México, 2005.
- [11] L. Socconini and M. A. Barrantes, M. Books, Ed. *El proceso de las 5'S en acción*. 2020, p. 154.
- [12] D. C. Montgomery and G. C. Runger, I. John Wiley & Sons, Ed. *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. 2003.

Prototipo de red neuronal artificial para el pronóstico de eventos por partículas PM2.5 en la zona centro de la ciudad de Orizaba.

E. Rodríguez Aguirre^{1*}

¹Alumno de la Maestría en Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, Oriente 9 No. 852, Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320 Orizaba, Ver., México
[*edgar_ra1@hotmail.com](mailto:edgar_ra1@hotmail.com)

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

La calidad del aire ha sido un tema de discusión actual, ya que origina diversos problemas de salud. Las grandes ciudades se ven más afectadas por diversos factores como el tránsito vehicular, actividades industriales o actividades del hogar, haciendo que se presenten niveles de contaminación variados, viéndose reflejados en las llamadas partículas materializadas (PM1.0, PM2.5, PM4.0, PM10.0), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos totales (HC), bióxido de azufre (SO₂), amoníaco (NH₃), compuestos orgánicos totales (COT), metano (CH₄), compuestos orgánicos volátiles (COV), etc. El presente proyecto busca predecir la cantidad de PM2.5 en base a diferentes variables mediante sensores en la zona centro de Orizaba, Veracruz. Se logran los objetivos deseados con base a la metodología planteada, siendo de gran importancia para investigaciones relacionadas a la salud o impacto ambiental y su relación con diferentes factores relacionados a la calidad del aire y temas similares.

Palabras clave: Calidad del aire, Contaminación, Pronostico, Redes Neuronales.

Abstract

Air quality has been a topic of discussion recently since it gives rise to health problems today. Big cities are more affected by various factors such as vehicular traffic, industrial activities or household activities, causing varied levels of pollution to be present, being reflected in the so-called materialized particles (PM1.0, PM2.5, PM4.0, PM10.0), carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NOx), total hydrocarbons (HC), sulfur dioxide (SO₂), ammonia (NH₃), total organic compounds (TOC), methane (CH₄), volatile organic compounds (VOC's), etc. This project seeks to predict the amount of PM2.5 based on different variables obtained by sensors in the main area of Orizaba, Veracruz. The desired objectives were achieved based on the proposed methodology, being significant for research related to health or environmental impact and its relationship with varied factors related to air quality and similar issues.

Key words: Air quality, Pollution, Prediction, Neural Networks.

Introducción

La calidad del aire en las ciudades alrededor del mundo ha sido un tema de discusión en tiempos recientes, debido a las políticas de salud que han surgido, buscando cumplir con ciertos estándares o niveles máximos permisibles de partículas contaminantes, siendo una de estas, las partículas finas PM2.5. Dichas partículas tienen un efecto considerable en la salud humana por el origen de su composición tóxica, además de contar con la presencia de componentes como carbón negro, metales, ácidos, nitratos, sulfatos, etc. [1]

La OMS ha publicado una serie de normas respecto a la calidad del aire referente a las partículas finas PM2.5, sugiriendo que el límite permisible para la concentración promedio en un día sea de 25 µg/m³ y para un año el valor promedio sea de 10 µg/m³. En base al nivel de contaminación del aire, se puede hacer uso del índice de calidad del aire, el cual es una herramienta que los gobiernos de diferentes países utilizan, para mostrar a la población el nivel de contaminación que hay en el aire y los posibles riesgos de salud que pueden afrontar, así

como las recomendaciones que deben seguir para minimizar la exposición a dichos contaminantes y por ende llevar a cabo sus actividades de la mejor forma posible. [2]

Cada país puede publicar sus propios límites máximos, respecto a la cantidad de un determinado tipo de partícula, en el caso de México, cuenta con poca información a este tipo de temas, pero hay normas recientes que consideran estos casos, como la NOM-156-SEMARNAT-2012 que habla del establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire. De igual modo la NOM-172-SEMARNAT-2019 se encarga de los lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud.

Ante la situación medio ambiental y problemas relacionados, se ha generado un proyecto de norma, siendo el PROY-NOM-025-SSA1-2020, de Salud ambiental, donde se establecen los criterios para evaluar la calidad del aire ambiental, referente a las partículas suspendidas PM10 y PM2.5, estableciendo así los valores permisibles para la concentración de partículas suspendidas en el aire, como medida de protección a la salud de la población.

La salud humana juega un papel importante en este tipo de estudios, ya que las partículas de menor tamaño (PM2.5) son susceptibles a tener mayor cantidad de componentes químicos dañinos, además de que entre menor sea el tamaño de dichas partículas, mayor será la probabilidad de que estas puedan llegar a zonas más profundas del sistema respiratorio, provocando a su vez problemas de salud. Este tipo de partículas pueden estar durante tiempos prolongados en la atmosfera, además de recorrer distancias grandes, lo cual puede perjudicar a los hogares, trabajos, escuelas, dejando a toda la población vulnerable a este tipo de partículas contaminantes.

La calidad del aire plantea un serio problema de salud en los próximos años, ya que el incremento de las principales partículas contaminantes va en aumento. Algunas de estas partículas son el monóxido de carbono (CO), los compuestos orgánicos volátiles (COV), el amoníaco (NH₃), los óxidos de nitrógeno (NO_x), las partículas materializadas (PM1, PM2.5, PM4, PM10) y el dióxido de azufre (SO₂). [3]

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, señala que la morbilidad aumentara en los próximos años, si no se toman medidas, políticas y estrategias para disminuir la contaminación del aire, ya que esto es causante de accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón, neumopatías crónicas, asma, entre otros problemas subyacentes. Además, la constante exposición a partículas PM2.5, puede alcanzar el torrente sanguíneo y afectar tanto a los pulmones como al corazón, provocando enfermedades cardíacas, como lo son los infartos al miocardio o taquicardia. [4]

Las partículas contaminantes, tienen un efecto negativo en la flora, además de otros componentes del ecosistema como el suelo y agua, así como el agua subterránea, generando un daño adicional a las personas, como resultado de la contaminación de los organismos mencionados anteriormente, lo cual a su vez provoca un cambio en la diversidad de especies debido a los daños originados, provocando finalmente una alteración en los ciclos biogeoquímicos, disminuyendo así, la capacidad de autorregulación del medio ambiente, provocando en la mayoría de los casos el calentamiento global y efecto invernadero. [5]

En el libro Importancia de las partículas PM2.5, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) afirma que las políticas en salud pública, en términos de estándares o niveles máximos permisibles de concentración de partículas ambientales, se han enfocado en los últimos años en las partículas finas PM2.5, aunque algunos estándares para partículas gruesas PM10 siguen vigentes. [6]

El uso de técnicas y herramientas de Inteligencia Artificial, ayudan a analizar la información obtenida y obtener resultados más prometedores que ayuden a minimizar el impacto al medio ambiente, y, por ende, buscar reducir los problemas relacionados a la salud humana. El pronóstico de datos para la calidad del aire ayudara a crear una conciencia, pero también buscar algún patrón en el comportamiento de datos obtenidos, como la hora, día, y como es el comportamiento de los datos obtenidos para conocer finalmente la calidad del aire dentro de una zona específica. [7]

Algunos estudios sugieren que los valores de temperatura, velocidad del viento y humedad, impactan en los resultados obtenidos de PM10, principalmente en el porcentaje de humedad, ya que suele afectar en mayor medida, la cantidad de material particulado obtenido. También existen estudios que relacionan los valores de la influencia de factores climatológicos y contaminantes del aire, enfocados a hospitales y hogares, ya que un porcentaje equilibrado de humedad evita la proliferación de partículas de polvo y cierto tipo de partículas. [8]

Metodología

Para el cumplimiento del objetivo del presente proyecto, se realizó una metodología estructurada por fases de implementación.

Paso 1 Formulación del problema.

La calidad del aire es un elemento muy importante en el día a día de la vida de las personas y como estas pueden desempeñar sus actividades diarias. Por lo tanto, se busca monitorear aquellas variables de mayor importancia como lo pueden ser aspectos climatológicos y de partículas contaminantes para predecir y pronosticar las PM_{2.5} por lo tanto se buscará obtener un dispositivo que logre obtener la mayor cantidad de datos, con la mejor precisión y fiabilidad posible al menor costo. [10]

El proyecto “La Evaluación del impacto en la salud por partículas pm_{2.5} en Sinaloa, México” evalúa los efectos de salud relacionándolos con la contaminación ambiental y la cuantificación económica de esta. Se analizan los impactos en la salud provocados por las partículas (PM_{2.5}) en las ciudades de Culiacán, Mazatlán y Los Mochis, así como una estimación de las muertes que pueden ser evitadas por la concentración de los niveles de contaminación recomendados por la OMS y las NOM’S correspondientes. Finalmente se recomienda crear políticas ambientales que promuevan la identificación y reducción de este tipo de emisiones para mitigar los impactos negativos al medio ambiente, pero sobre todo a la calidad del aire. [11]

En el proyecto “Red Neuronal Artificial aplicado para el pronóstico de eventos críticos de PM_{2.5} en el Valle de Aburra”, se propone una red neuronal artificial aplicada al pronóstico de eventos críticos de PM_{2.5} en el Valle de Aburrá, debido a los efectos negativos que se tiene sobre la salud humana y las subsecuentes repercusiones sobre la calidad de vida, económica y la calidad del medio ambiente. Esto ayudara a mitigar o prevenir algunos impactos en base al modelado de una red neuronal artificial (RNA) encargada de pronosticar la concentración diaria de material particulado (PM_{2.5}) a partir de la información de tres estaciones de Monitoreo de la calidad del aire. [12]

En el trabajo “Modelado de partículas PM₁₀ y PM_{2.5} mediante redes neuronales artificiales sobre clima tropical de San Francisco de Campeche, México”, se elabora una metodología para la predicción basándose en herramientas de Inteligencia Artificial para la estimación de partículas materializadas (PM_{2.5} y PM₁₀) en ausencia de equipo especializado. Dicha predicción se basa en redes neuronales artificiales mediante la obtención de datos meteorológicos y mediciones de la calidad del aire en la ciudad de San Francisco de Campeche, México. [13]

Sin embargo, México no es un país que se caracterice por una cultura sobre estos temas, ya que tan solo existen alrededor de 34 sistemas de monitoreo de la calidad del aire (Figura 1), donde sólo en 15 entidades se genera un índice de la calidad del aire. Cada índice es diferente uno al otro teniendo diferencias tanto en nombres, cálculos, criterios de clasificación, mensajes, notificaciones, frecuencia de recolección, análisis, etc. [14]

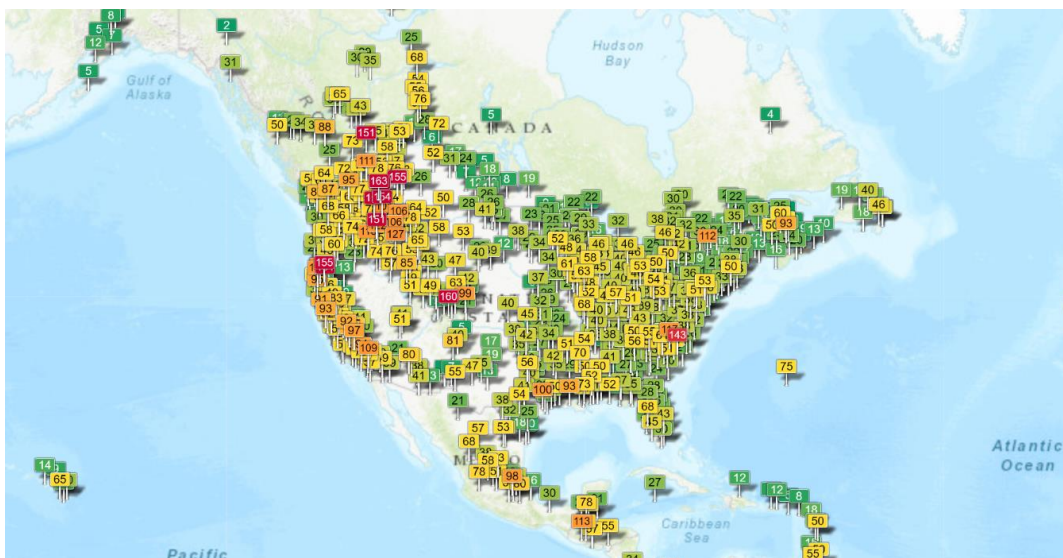


Figura 1. Ubicación de estaciones de monitoreo de la calidad del aire. [15]

Paso 2 Aplicación de AHP difuso para la selección de los componentes electrónicos.

Algunos autores sugieren metodologías multicriterio para la selección de proveedores, productos o artículos bajo consideraciones de riesgo, para poder seleccionar las mejores materias primas y materiales para los procesos y actividades de interés, para poder obtener una mayor eficiencia y eficacia. [15]

Por tal motivo, se aplica AHP difuso para la selección de un sensor de condiciones climatológicas (Tabla 1) y para un sensor de partículas contaminantes (Tabla 2) basándose en diferentes criterios personales. Para ambos sensores se tomaron en cuenta los criterios de precisión para la toma de datos, la disponibilidad en tiendas y el precio de cada sensor. El sensor que obtuvo la mejor puntuación para las condiciones climatológicas fue el sensor BOSCH BME680. El sensor que obtuvo la mejor puntuación para medir las partículas contaminantes fue el Sensor SENSIRION SPS30.

Tabla 1 AHP difuso para el sensor de condiciones climatológicas.

		Precisión	Disponibilidad	Precio
1	BME680	0.5635419	0.45481156	0.53255938
2	BME388	0.19555663	0.29773051	0.28134078
3	DHT11	0.12310417	0.1190838	0.09693166
4	DHT22	0.07522981	0.07759013	0.06071625
5	BME280	0.0425675	0.050784	0.02845193

Tabla 2 AHP difuso para el sensor de partículas contaminantes.

		Precisión	Disponibilidad	Precio
1	SPS30	0.447723019	0.544237909	0.556377555
2	PMS5003	0.293069676	0.268375294	0.243472603
3	MQ2	0.129865424	0.103660733	0.112100025
4	MQ3	0.079358746	0.057924862	0.053213474
5	MQ135	0.049983135	0.025801202	0.034836343

Para poder procesar los datos de ambos sensores, había dos opciones disponibles, utilizar ARDUINO (Figura 1) o Raspberry, pero por el precio principalmente, y la facilidad de uso, fue lo que llevo a considerar ARDUINO sobre Raspberry.



Figura 2. PLACA ARDUINO.

ARDUINO es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar. Está destinado a cualquiera que realice proyectos interactivos. Se hacen uso de las placas y software especializado de ARDUINO. Las placas ARDUINO detectan el entorno al recibir entradas de muchos sensores afectando su entorno al controlar luces, motores y otros actuadores actuando principalmente como un controlador. El software

ARDUINO permite definir que hacer escribiendo código en el lenguaje de programación ARDUINO y utilizando el entorno de desarrollo ARDUINO

El modelo usado para poder procesar los datos es una placa ARDUINO UNO, los cuales tendrá conectados dos sensores, el sensor de material particulado SENSIRION SPS30 (Figura 3) y el sensor de condiciones climatológicas BOSCH BME680 (Figura 4). Además, se agrega el sensor ML8511(Figura 5) el cual es un sensor de luz ultravioleta seleccionado arbitrariamente debido a que es el único que había disponible y su bajo costo.



Figura 3. SPS30

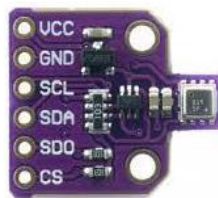


Figura 4. BME680.

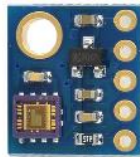


Figura 5. ML8511.

Paso 3 Obtención de datos y creación de la base de datos.

La localización de los sensores se colocó sobre la calle Oriente 4, casi esquina de sur 29, siendo este un domicilio particular, ya que, por motivos de la pandemia, no se pudo colocar en otra ubicación. Sin embargo, dicha zona presenta gran afluencia vehicular y tránsito de personas, además de que es una zona estrategia con respecto a diferentes atracciones, escuelas y centros comerciales, además de contar con la presencia cercana de fabricas como la Fundición y Mecánica Susano Solís. Una vez definido lo anterior, se obtienen los datos de interés del sistema y todos sus elementos que lo conforman. La recolección de datos se realizado del lunes 1 de agosto de 2022 al domingo 7 de agosto de 2022.

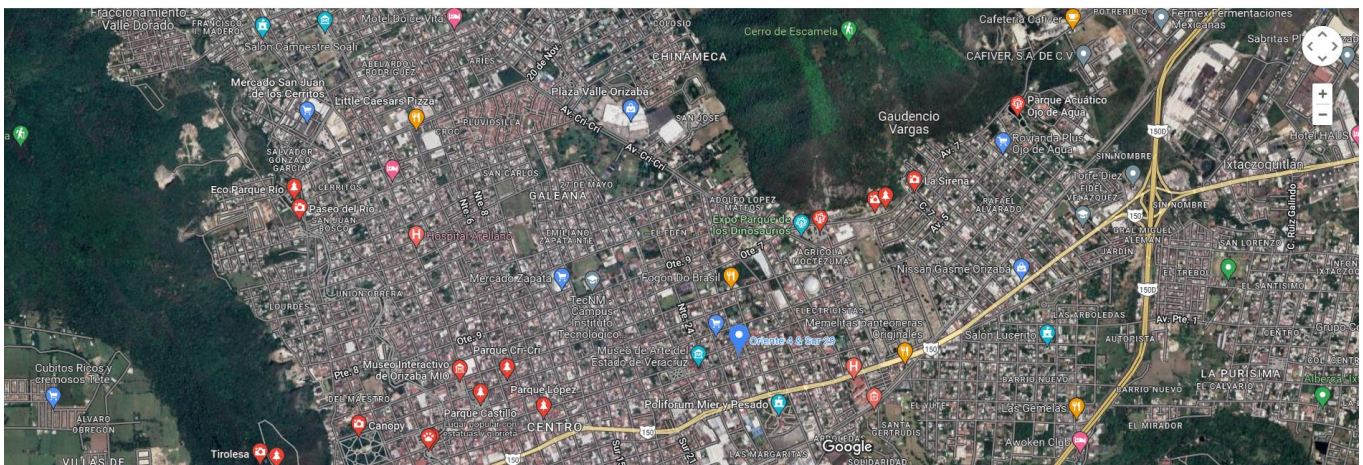


Figura 6. Mapa de la zona.

Es importante mencionar que los datos que recopila el sensor BME680 son: Temperatura (C°), Humedad Relativa (%), Presión atmosférica (hPa), Altitud Aproximada (metros), Resistencia al gas (Kohm). Los datos que recopila el sensor BME680 son: PM1.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), PM4.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), PM10.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), NC0.5 ($\#/ \text{cm}^3$), NC1.0 ($\#/ \text{cm}^3$), NC2.5 ($\#/ \text{cm}^3$), NC4.0 ($\#/ \text{cm}^3$), NC10.0 ($\#/ \text{cm}^3$), Tamaño de Partícula (nanómetros). Los datos que recopila el sensor UV ML8511 es la longitud de onda de la radiación UV medida en nanómetros.

Los datos recolectados pueden encontrarse en el siguiente enlace:

<https://www.dropbox.com/scl/fi/ee2z0bzdqhzbagqcxjfkq/Sensores-Base-de-datos.xlsx?dl=0&rlkey=d6cwe18o0li3zxpjfxhx0kerq>

Paso 4 Aplicación de redes neuronales artificiales.

Se aplican redes neuronales artificiales mediante Neural Tools, a todos los datos recopilados para así poder analizar la información, para ello se procede a entrenar los datos obtenidos, posteriormente se procede a probar la red neuronal artificial y por último se verifica mediante una serie de predicciones.

Para aplicar las redes neuronales solo se tomaron en cuenta los datos de Temperatura, Presión, radiación UV, la hora, el día de la semana Dia, la Humedad y los VOC, ya que estos datos se pueden obtener de una pagina del clima cualquiera y por ende cualquier persona puede buscar predecir sus datos sin necesidad de buscar datos como el tamaño de partícula contaminante, entre otros. [16]

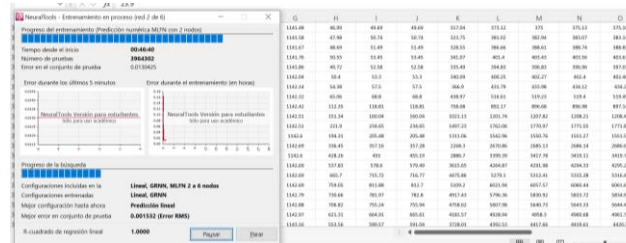


Figura 7. Aplicación de Neural Tools.

Paso 4 Análisis de resultados.

Se analizan los resultados para ver las variables de mayor peso y poder realizar las predicciones correspondientes.

Resultados y discusión

Una vez recolectada la información en Neural Tools se procede a entrenar y probar a la red para poder encontrar los elementos que nos indicaran el comportamiento de nuestra variable dependiente, la partícula materializada PM2.5

Algunos autores proponen una red neuronal artificial aplicada al pronóstico de eventos críticos de PM2.5 en el Valle de Aburrá, debido a los efectos negativos que se tiene sobre la salud humana y las subsecuentes repercusiones sobre la calidad de vida, económica y la calidad del medio ambiente. Este tipo de proyectos ayuda a mitigar o prevenir algunos impactos en base al modelado de una red neuronal artificial (RNA) encargada de pronosticar la concentración diaria de material particulado (PM2.5) a partir de la información de estaciones de Monitoreo de la calidad del aire. [18]

Dentro de los resultados que se muestran los impactos de variable relativos que nos hacen referencia a aquellas variables que tienen un mayor impacto para el resultado de la variable dependiente, en este caso podemos ver que la temperatura juega un papel importante, ya que es lo que más afecta el comportamiento de la variable (Figura 8). Los valores de presión y radiación UV también juegan un papel importante, lo cual podemos comparar con algunos estudios que indican que las ciudades que se encuentran en alturas realmente considerables son

aquellas que pueden llegar a sufrir de mayores niveles de contaminación como por ejemplo la Ciudad de México y Toluca. [19]

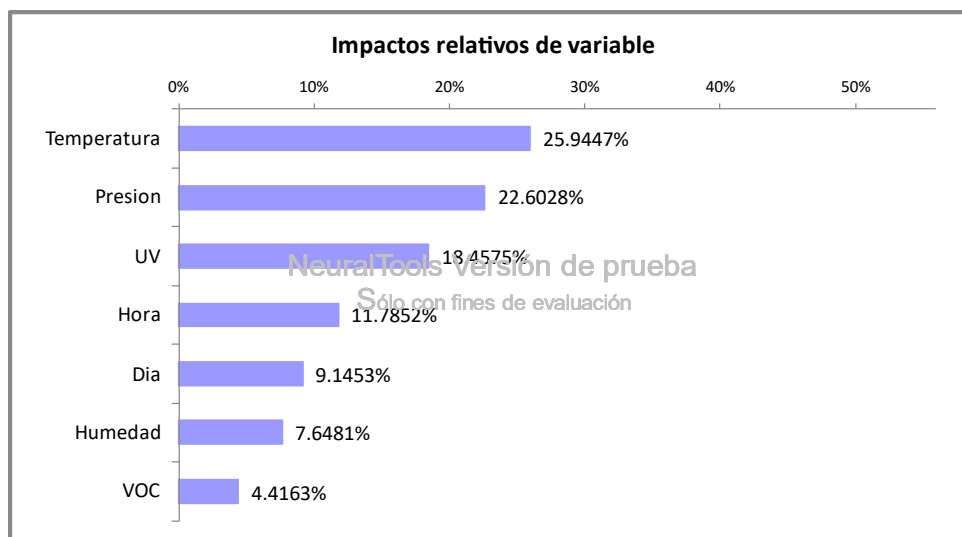


Figura 8. Impactos de Variables

Como podemos ver la Figura 9, el valor del cuadrado medio del tratamiento representa la variación entre las medias de las muestras que indica un valor relativamente aceptable en ambos casos. Se puede ver que la predicción es adecuada comparándolo con los datos históricos que se tienen en la base de datos que se generó (Figura 10). Dichos datos pueden encontrarse en la liga mencionada anteriormente.

Error cuadrático medio (Entrenamiento)	13.34	1.625
Error cuadrático medio (Prueba)	10.53	4.625

Figura 9. Error cuadrático Medio

Hora	Dia	Temperatura	Presion	Humedad	VOC	UV	PM2.5	Etiqueta usada	Predicción
0:00:00	3	37	887.41	57	8	278		predecir	9.82
0:05:00	5	22.94	887.4	95	9	281		predecir	3.00

Figura 10. Predicción de la red neuronal.

Es muy importante mencionar que cuando se habla de redes neuronales, esta depende de la cantidad de datos que tenga para su entrenamiento, ya que a mayor cantidad de datos que obtenga, podrá obtener resultados mas precisos para predicción. Otro factor importante que considerar, es el equipo o computadora que se utiliza para la predicción, ya que el tipo de hardware utilizado se podrá ver reflejado en los cálculos que haga la red neuronal y el tiempo que tarde en procesar dichos cálculos.

Trabajo a futuro

Se buscara seguir tomando datos ya que entre mayor datos se tengan, habrá una mayor confianza en los resultados de la predicción, además, este proyecto tiene un gran alcance ya que los sensores pueden conectarse mediante un protocolo MQTT a páginas web o aplicaciones enfocadas en el Internet de las Cosas, llegando así a manejar una gran cantidad de datos para análisis, además de poder conectar otros sensores de bajo costo como el sensor para la detección de lluvia, detección de viento y su dirección, así como el nivel de precipitación

que puede haber en la ciudad, así como una gran variedad de sensores y aplicaciones y estudios relacionados en base a proyectos de este tipo. Así como la aplicación de Deep Learning en tiempo real para contabilizar la cantidad de vehículos o peatones que pasan por la zona y analizar si existe una relación con la información.

Conclusiones

La calidad del aire es de gran importancia hoy en día, por todo el contexto con el que se relaciona y el vínculo directo que tiene con la salud humana. Conocer los principales factores y el comportamiento que tienen elementos relacionados a la calidad del aire, es de gran importancia para analizar y comprender la información referente a este tema.

Los principales factores que afectan a las partículas materializadas finas (PM2.5) son la temperatura, la presión y la radiación UV. También los valores del día de la semana y la hora de la toma de datos tienen un peso importante, al igual que el porcentaje de humedad en el ambiente, ya que puede verse en los resultados, dichos valores tienen pesos más o menos equilibrados.

Se considera que este estudio es de gran importancia por el impacto ambiental que se ha visto en tiempos recientes, además, existen algunos estudios que indican que se pueden evitar muchas muertes relacionadas a la calidad de aire, siempre y cuando se hubieran tomado las medidas adecuadas para lograr esto. Dicho proyecto es solo un prototipo que puede servir en otras áreas, como el área agrícola que son fuente de contaminantes por el tipo de productos utilizados en la cosecha de diferentes cultivos.

Se considera que se debe regular o aplicar de forma más estricta las normas relacionadas a la calidad del aire, aunque Orizaba sea una ciudad pequeña en comparación de grandes ciudades como Puebla, Monterrey, Querétaro, Ciudad de México, entre otras, esto no significa que no afecte en algún momento a la salud de las personas, ya que Orizaba cuenta con una actividad industrial realmente importante, con empresas como Heineken, Schettino, CAFIVER, así como empresas transportistas y una actividad considerable de vehículos en su avenida principal.

Referencias

- [1] (s.f.). Baena Salazar, D., Jiménez, J., Zapata, C., & Ramírez-Cardona, Á. (2019). Red neuronal artificial aplicado para el pronóstico de partículas PM2.5
- [2] SEMARNAT. (12 de 2021). Recuadro. Obtenido de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/recuadros/recuadro5_1.html.
- [3] (s.f.). Baena Salazar, D., Jiménez, J., Zapata, C., & Ramírez-Cardona, Á. (2019). Red neuronal artificial aplicado para el pronóstico de eventos críticos de PM2.5 en el Valle de Aburrá. Universidad Nacional de Colombia, 347-356.
- [4] México, G. d. (10 de 12 de 2021). Dirección de Monitoreo Atmosférico. Obtenido de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZKBhnmWkYw==%27>
- [5] México, G. d. (10 de 12 de 2021). Dirección de Monitoreo de la Ciudad de México. Obtenido de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZKBhnmWkZA==%27>
- [6] Naturales, S. d. (12 de 2021). Partículas suspendidas PM10 y PM2.5 dañan salud y medio ambiente. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/particulas-suspendidas-pm10-y-pm2-5-danan-salud-y-medio-ambiente?idiom=es>
- [7] Becerra Pérez, L., & Ramos Álvarez, R. (2020). EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN LA SALUD POR PARTÍCULAS PM2.5 EN SINALOA, MÉXICO. Revista Internacional de Contaminación Ambiental.
- [8] Echeverri Londoño, C., & Maya Vasco, G. (2008). Relación entre las partículas finas (PM 2.5) y respirables PM 10) en la ciudad de Medellín. Revista Ingenierías Universidad de Medellín.
- [9] Pereira Junior, A., Donadon Homem, T., & Oliveira Teixeira, F. (2021). Aplicación de inteligencia artificial para monitorear el uso de mascarillas
- [10] Espinosa Guzmán, A., May Tzuc, O., Balam Pantí, I., Reyes Trujeque, J., Pérez Quintana, I., & Bassam, A. (2019). MODELADO DE PARTÍCULAS PM10 Y PM2.5 MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES SOBRE CLIMA TROPICAL DE SAN FRANCISCO DE CAMPECHE, MÉXICO. Quim. Nova, 1025-1034.

- [11] (s.f.). Baena Salazar, D., Jiménez, J., Zapata, C., & Ramírez-Cardona, Á. (2019). Red neuronal artificial aplicado para el pronóstico de partículas PM2.5
- [12] Bechara Echeverry, L., & Parra Giraldo, S. (2019). Monitoreo de afluencia de personas utilizando aprendizaje profundo. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- [13] Echeverri Londoño, C., & Maya Vasco, G. (2008). Relación entre las partículas finas (PM 2.5) y respirables PM 10) en la ciudad de Medellín. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*.
- [14] INECC – Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2017. Informe Nacional de Calidad del Aire 2016. <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/informes/Informe2016.pdf>
- [15] Contaminacion del aire del mundo. 2022. <https://aqicn.org/map/world/es/>
- [16] Espinosa Guzmán, A., May Tzuc, O., Balam Pantí, I., Reyes Trujeque, J., Pérez Quintana, I., & Bassam, A. (2019). MODELADO DE PARTÍCULAS PM10 Y PM2.5 MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES SOBRE CLIMA TROPICAL DE SAN FRANCISCO DE CAMPECHE, MÉXICO. *Quim. Nova*, 1025-1034.

- [18] Galvis, B., & Rojas, N. (2006). Relación entre PM2,5 y PM10 en la ciudad de Bogotá. *Revista Acta Nova*.
- [19] México, G. d. (10 de 12 de 2021). Dirección de Monitoreo Atmosférico. Obtenido de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZKBhnmWkYg==%27>

Optimización en Hoja de Cálculo de una Ruta de Reparto de Garrafones de Agua

C. M. Pérez Ramírez^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Pachuca, carlos.pr@pachuca.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

Uno de los problemas logísticos de frecuente aparición en la práctica es el del enrutamiento de vehículos. Aunque los modelos de programación matemática para determinar la ruta de mínimo costo son de la clase NP-Difícil, sí resultan apropiados para la cantidad de nodos relativamente baja de las rutas de reparto o recolección de una micro o pequeña empresa. Se expone aquí un modelo lineal de optimización para determinar la ruta de mínima distancia del recorrido diario de un vehículo repartidor de garrafones de agua, programado en una hoja electrónica de cálculo y resuelto mediante el optimizador que ésta incluye.

Palabras clave: Logística, Optimización, TSP, VRP

Abstract

One of the logistical problems that frequently appears in practice is that of vehicle routing. Although the mathematical programming models to determine the path of least cost are of the NP-Hard class, they are appropriate for the relatively small number of nodes of the delivery or collection routes of a micro or small company. A linear optimization model is presented here to determine the minimum distance route of the daily journey of a water bottle delivery vehicle, programmed in an spreadsheet and solved using the included optimizer.

Key words: Logistics, Optimization, TSP, VRP

Introducción

El transporte de mercancías es de particular interés debido a que tiene un costo importante que debe recuperarse mediante el ingreso monetario que se obtiene de los productos entregados o recogidos. El problema de transporte más sencillo es aquél en el que se acarrean objetos desde las ubicaciones que los tienen disponibles hasta otras que las demandan. Cuando los objetos transportados pasan por sitios (nodos) ubicados entre los orígenes y los destinos da lugar a una situación que se conoce como problema de transbordo; pero un caso quizás más frecuente es aquél en que un objeto parte de un sitio llamado base a fin de realizar un recorrido en el que visita (con alguna misión) exactamente una sola vez y en secuencia cada uno de los sitios de una lista finita y regresa finalmente a la base, situación que es conocida como el *problema del agente viajero* (TSP, por *Traveling Salesman Problem*) [1].

El viajero puede ser una persona o bicicleta, motocicleta, automóvil, camión, tráiler, autobús, yate, barco, aeronave y los sitios a visitar pueden ser casas residenciales o locales comerciales, fábricas, almacenes, ciudades, puertos. En cualquier caso la estructura matemática del problema del agente viajero corresponde a un *circuito Hamiltoniano*: un camino cerrado que pasa una sola vez por cada uno de los nodos o vértices de un grafo conexo (figura 1).

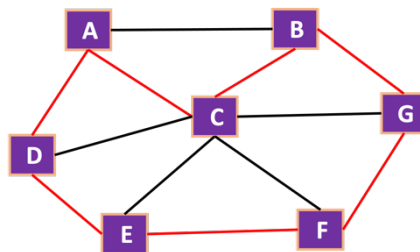


Figura 1. Circuito Hamiltoniano: secuencia A, C, B, G, F, E, D, A. Fuente: elaboración propia.

Una forma visualmente atractiva de entender lo que es un circuito de Hamilton se presenta en la escena que inicia un poco antes de la hora y media de proyección de la película *Guardianes de la Galaxia*: el viajero es el dardo del bandido Yondu Udonta y los sitios que visita son los alienígenas que lo amenazan y a quienes elimina, a todos, uno a la vez. La trayectoria del dardo forma un circuito Hamiltoniano. El video está disponible en YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=d5Gz7MeSbF4>.

Variantes

Además de haber un solo viajero (vehículo, de aquí en adelante) y un único sitio de inicio y terminación del recorrido (la "base") existen dos casos generales más de establecimiento de rutas de entrega o recolección: 1) dos o más vehículos y una sola base [2]; 2) dos o más vehículos y dos o más bases [3], [4]. Puede ser que un vehículo parta de una determinada base y no necesariamente deba regresar a la misma sino a otra o aun a ninguna [5], es decir, no realizar un recorrido cerrado sino abierto (el recorrido no es un circuito). Los casos descritos en los artículos citados este párrafo son muy complejos, de modo que sus respectivos modelos combinan algoritmos exactos de programación matemática con métodos heurísticos. La figura 2 ilustra el caso de una sola base y rutas de tres vehículos.

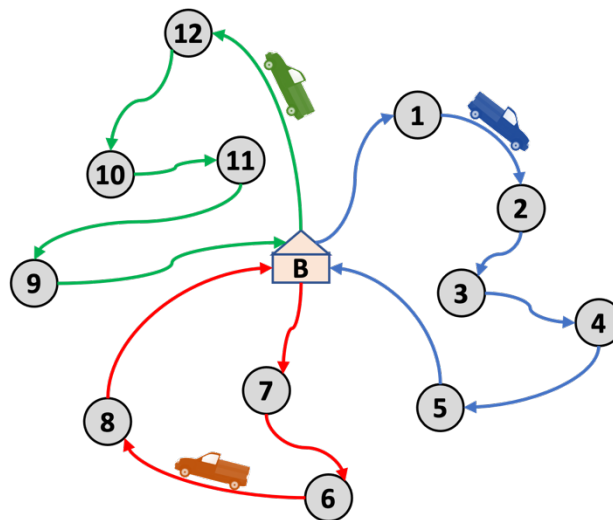


Figura 2. Una sola base (B) y tres vehículos. Fuente: elaboración propia.

En vez del acrónimo TSP, estas situaciones son abreviadas VRP (*Vehicle Routing Problem*) y suelen complementarse de otras letras que denotan las características específicas del problema, por ejemplo: ATSP (*Asymmetric Vehicle Routing Problem*) se refiere a un problema tipo agente viajero asimétrico, del cual un caso práctico es el descrito en [6]; o CVRPTW (*Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows*) para un problema de enrutamiento de vehículos con restricciones de capacidad y ventanas de tiempo.

Por la complejidad computacional que presentan, los problemas de optimización de variables enteras se clasifican como "difíciles de resolver" (*NP-Difícil*) porque el tiempo de solución crece exponencialmente a medida que aumenta su tamaño [7]. La determinación de una solución óptima de problemas tipo agente viajero y de enrutamiento de vehículos se puede asegurar mediante la programación lineal entera, lo cual los ubica en la clase NP-Difícil (*NP-Hard*). Un TSP de n sitios tiene $(n-1)!$ rutas posibles en el caso asimétrico y $(n-1)!/2$ en el simétrico. Un pequeño ATSP de 4 sitios implica apenas 6 rutas pero para 10 sitios son 362,880 rutas. Los avances tanto en potencia computacional como en materia algorítmica permiten resolver problemas cada vez de mayor tamaño por métodos exactos, actualmente de hasta 200 nodos [8].

En cuanto al uso de hojas de cálculo para resolver VRP's, Günes Erdogan [8] utiliza un algoritmo metaheurístico de optimización para programar en Visual Basic para Aplicaciones (VBA) su *VRP Spreadsheet Solver*, una aplicación en Microsoft Excel de código abierto de la que afirma que es capaz de resolver CVRP's (*Capacitated VRP's*) y DCVRP's (*Distance-Constrained VRP's*) de hasta 200 clientes en 1 hora de tiempo de CPU, aunque por utilizar un método heurístico no hay garantía matemática de que las soluciones que encuentra sean óptimas.

El modelo de optimización

El modelo de optimización apropiado depende de las condiciones o metas particulares de cada caso. Se enlistan algunas:

- En vez del natural objetivo de minimizar un "costo" (desembolso monetario, distancia, tiempo, cantidad de vehículos) puede perseguirse uno de maximización (ganancia, ahorro, utilidad, volumen, cobertura).
- Capacidad de carga de los vehículos, que puede ser la misma en cada uno o diferente.
- Periodos (ventanas) de tiempo de visita en cada sitio.
- Vías de acceso distintas a los sitios que limitan el tipo de vehículo que puede llegar a ellos.
- La demanda de cada sitio.
- Asimetría de los datos requeridos, por ejemplo: la distancia a recorrer del sitio A al B no es la misma que de B a A.
- Distancia o tiempo máximo que se permita al recorrido.

El caso expuesto en este documento es similar al de la figura 2, con capacidad de carga limitada y asimétrico (ACVRP), por lo que el modelo de optimización apropiado es el de la figura 3 (original escrito en LaTeX por el autor), adaptado de la formulación de maximización de ahorros (*savings model*) de la sección 2.2 de [9].

$$\text{Min } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Sujeta a:

$$\sum_{j=1}^n X_{0j} = p \quad (2)$$

$$\sum_{i=0, i \neq j}^n X_{ij} = 1 \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^n X_{ij} = 1 \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (4)$$

$$u_i - u_j + (d_j + K)X_{ij} \leq K \quad \forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\}, i \neq j \quad (5)$$

$$d_i \leq u_i \leq K \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (6)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\} \quad (7)$$

Figura 3. Modelo CVRP. Fuente: elaboración propia.

en donde:

C_{ij} = Costo de transportar una unidad del sitio i al j

X_{ij} = Cantidad de unidades que se llevan del sitio i al j

n = Número de sitios (incluyendo la base)

p = Número de vehículos

u_i, u_j = Variables auxiliares

d_i = Demanda del sitio i

K = Capacidad de carga de cada vehículo

En la figura 3 (1) es la función objetivo, (2) asegura que se utilizan p vehículos, (3) y (4) son las restricciones típicas de un problema puro de asignación, (5) impide que haya subrotas, (6) son las restricciones de demanda y capacidad de carga y (7) especifica que las variables de decisión son binarias: $X_{ij} = 1$ indica que el tramo del sitio i al j pertenece a una ruta y $X_{ij} = 0$ si no es así.

Metodología

A grandes rasgos la metodología empleada se apega a la secuencia indicada en la figura 4.

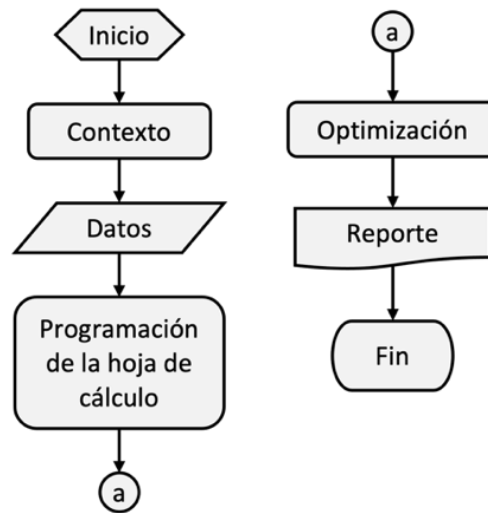


Figura 4. Metodología. Fuente: elaboración propia.

Contexto

El problema de enrutamiento de vehículos aquí expuesto está basado en uno de los desarrollos efectuados en un proyecto de residencia profesional realizado por una estudiante de Ingeniería Industrial dirigida por el autor en una micro empresa purificadora y distribuidora de agua ubicada en una población del Estado de Hidalgo [10]. El proyecto fue motivado por la falta de un plan de distribución para el reparto de garrafones de 20 l a domicilio.

El reparto se realiza diariamente excepto miércoles y domingo en una camioneta con capacidad de carga de 850 kg pero al descontar los pesos del conductor y su ayudante, el del anaquel en que se acomodan los garrafones y algunos otros objetos la capacidad remanente nominal es de 695 kg aunque la real es mayor por la tolerancia de diseño que tienen los vehículos de carga. Por esta razón es suficiente considerar que un garrafón de 20 litros pesa igual número de kilogramos y por lo tanto la capacidad de carga libre del vehículo es de prácticamente 35 garrafones.

La purificadora tiene una cartera fija de 181 clientes (casas o domicilios), mismos que se repartieron en los 5 días de servicio con base en su dispersión geográfica lo que originó una cantidad de casas diferente a atender por día. En la mayoría de los clientes la entrega es semanal pero hay algunos con servicio cada dos semanas dando un total de 10 agrupamientos (Tabla 1).

Tabla 1. Distribución de casas por día y demanda

Día	Reparto semanal			Reparto cada una y dos semanas		
	# casas	# garrafones	# viajes	# casas	# garrafones	# viajes
Lunes	33	93	3	38	112	4
Martes	30	82	3	37	107	4
Jueves	33	78	3	35	86	3
Viernes	31	76	3	37	89	3
Sábado	32	106	4	34	108	4

Fuente: elaboración propia.

La demanda de garrafones en cada domicilio es siempre la misma pero variable entre ellos (de 1 a 4). Al contar con un solo vehículo de reparto y dada su limitada capacidad de carga es necesario realizar la distribución en varios viajes, implicando que en el modelo de la figura 3 la constante p de la ecuación (2) se interprete como "el número de viajes".

Datos

Debido a que el procedimiento de optimización es el mismo solo se relata lo relacionado con el modelo de reparto de los días lunes a domicilios con frecuencia de cada una y dos semanas. La figura 5 muestra algunas distancias entre la planta purificadora y las casas y entre cada par de éstas. Los sitios de partida están en las filas y los de destino en las columnas. La determinación de las distancias se realizó una a una con ayuda de Google Maps® y un plano proporcionado por las autoridades municipales locales.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	AL	AM	AN	AO	
2																		
3																		
4				Planta														
5				Casa 1	0.17	0.22	0.26	0.26	0.30	1.50	1.10	1.10	0.80	0.30	3.20	0.65	0.75	0.35
6				Casa 2	0.54	0.05	0.09	0.09	0.13	1.33	0.93	0.93	0.63	0.64	3.30	0.48	0.58	0.18
7				Casa 3	0.59	0.40		0.04	0.04	1.28	0.88	0.88	0.58	0.59	4.99	0.43	0.53	0.13
8				Casa 4	0.63	0.49	0.42		0.00	1.24	0.84	0.84	0.54	0.55	4.95	0.39	0.49	0.09
9				Casa 5	0.63	0.49	0.42	0.00		1.24	0.84	0.84	0.54	0.55	4.95	0.39	0.49	0.09
10				Casa 6	0.35	0.33	0.37	0.42	0.42		1.26	0.80	0.80	0.50	3.00	0.41	0.51	0.03
11				Casa 7	1.50	1.50	1.54	1.59	1.59	1.40		1.60	1.60	1.30	2.10	1.10	0.85	1.40
12				Casa 8	1.10	1.10	1.14	1.19	1.19	0.80	1.60		0.00	0.86	3.40	0.55	0.85	0.75
13				Casa 9	1.10	1.10	1.14	1.19	1.19	0.80	1.60	0.00		0.30	0.86	3.40	0.55	0.85
14				Casa 10	0.80	0.80	0.84	0.89	0.89	0.50	1.30	0.30	0.30		0.84	3.10	0.25	0.55
15				Casa 35	0.30	0.64	0.68	0.73	0.73	1.30	0.49	0.86	0.86	0.84		3.00	0.40	0.50
16				Casa 36	3.20	3.20	3.24	3.29	3.29	3.20	2.10	3.40	3.40	3.10	3.00		2.80	2.50
17				Casa 37	0.65	0.65	0.69	0.74	0.74	0.41	1.10	0.55	0.55	0.25	0.40	2.80		0.30
18				Casa 38	0.75	0.70	0.74	0.79	0.79	0.51	0.85	0.85	0.85	0.55	0.50	2.50	0.30	
19				Demanda	0.35	0.30	0.34	0.39	0.39	0.03	1.40	0.75	0.75	0.45	0.45	3.10	0.30	0.60
20						1	2	3	3	2	4	4	6	4	2	2	2	2
21																		1

Figura 5. Matriz de distancias (km) y demanda de garrafones de agua. Fuente: elaboración propia.

La demanda por domicilio se estableció con base en un estudio de campo de cuatro semanas. La matriz resultante no es simétrica debido a que no todas las calles y caminos de la zona geográfica de reparto son de doble sentido del tráfico vehicular.

Programación de la hoja de cálculo

Tanto Excel como OpenOffice Calc tienen disponible un optimizador que en ambas aplicaciones se denomina SOLVER. Aunque Excel es la hoja electrónica de cálculo más popular e instalada casi en cualquier computadora con sistema operativo Windows o macOS, su SOLVER, que es la versión estándar del fabricante (*Frontline Systems*), soporta modelos de hasta 200 variables solamente (<https://www.solver.com/linear-quadratic-technology>), y no es apto ni para el menor de los 10 agrupamientos: el modelo de 30 casas tiene $31^2 + 31 = 31 \cdot 32 = 992$ variables. En cambio, la única limitante del SOLVER de Calc es la potencia computacional del equipo en que se ejecute. Ésta es la razón principal de programar y ejecutar los modelos en Calc; una segunda razón de esta elección es que es totalmente gratis, sin restricciones de uso y para Windows, macOS y Linux (<https://www.openoffice.org>).

Hay varios sistemas de modelado matemático (LINGO®, AMPL®, GAMS®, GUROBI®, etc.) apropiados para resolver problemas de enrutamiento de vehículos, pero se requiere aprender su sintaxis, amén de que sus versiones demostrativas tampoco sirven para la cantidad de variables antes indicada (sería necesario pagar una versión mayor).

La figura 6 es el esquema que en una hoja de cálculo facilita la implantación del modelo matemático de programación lineal de la figura 3. En la diagonal principal de la matriz de distancias se introduce un número suficientemente grande para evitar que en la solución de la matriz de asignaciones resulten 1's en ella.

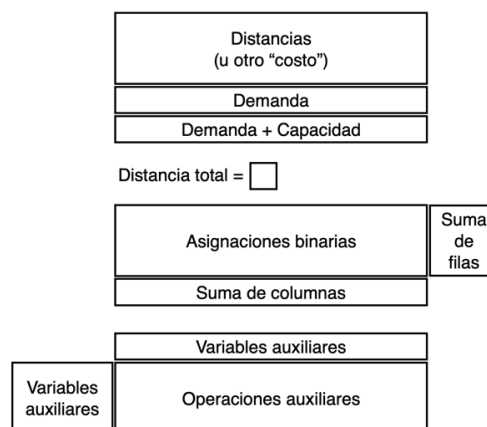


Figura 6. Esquema para programación del ACVRP. Fuente: elaboración propia.

El agrupamiento escogido es el del mayor número de domicilios, que corresponde al reparto de los días lunes a 38 domicilios con frecuencia de una y dos semanas, que resulta en un modelo de 1482 variables y 1559 restricciones. La figura 7 muestra la parte de datos del modelo en Calc, ya con un valor apropiado en la diagonal que evita con seguridad que sus elementos sean incluidos en alguna ruta.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	AP	AQ		
1																			
2					Capacidad de carga = 35 garrafones								# viajes = 4						
3																			
4					Tabla 1) Distancias entre sitios, en kilómetros, y su demanda (garrafones)														
5					Planta	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Casa 4	Casa 5	Casa 6	Casa 7	Casa 8	Casa 9	Casa 10	Casa 37	Casa 38		
6					Planta	150	0.17	0.22	0.26	0.26	0.30	1.50	1.10	1.10	0.80	0.30	0.75	0.35	
7					Casa 1	0.54	150	0.05	0.09	0.09	0.13	1.33	0.93	0.93	0.63	0.64	0.58	0.18	
8					Casa 2	0.59	0.40	150	0.04	0.04	0.08	1.28	0.88	0.88	0.58	0.59	0.53	0.13	
9					Casa 3	0.63	0.49	0.42	150	0.00	0.04	1.24	0.84	0.84	0.54	0.55	0.49	0.09	
43					Casa 37	0.75	0.70	0.74	0.79	0.79	0.51	0.85	0.85	0.85	0.55	0.50	150	0.60	
44					Casa 38	0.35	0.30	0.34	0.39	0.39	0.03	1.40	0.75	0.75	0.45	0.45	0.60	150	
45					Demanda	1	2	3	3	2	4	4	6	4	2	2	1		

Figura 7. Matriz de distancias útil y demás datos iniciales. Fuente: elaboración propia.

El modelo completo de hoja de cálculo –sin mostrar la mayoría de filas y columnas y aun sin resolver– es el de la figura 8.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	AP	AQ	AR	
1																			
2					Capacidad de carga = 35 garrafones								# viajes = 4						
3																			
4					Tabla 1) Distancias entre sitios, en kilómetros, y su demanda (garrafones)														
5					Planta	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Casa 4	Casa 5	Casa 6	Casa 7	Casa 8	Casa 9	Casa 10	Casa 37	Casa 38		
6					Planta	150	0.17	0.22	0.26	0.26	0.30	1.50	1.10	1.10	0.80	0.30	0.75	0.35	
7					Casa 1	0.54	150	0.05	0.09	0.09	0.13	1.33	0.93	0.93	0.63	0.64	0.58	0.18	
8					Casa 2	0.59	0.40	150	0.04	0.04	0.08	1.28	0.88	0.88	0.58	0.59	0.53	0.13	
9					Casa 3	0.63	0.49	0.42	150	0.00	0.04	1.24	0.84	0.84	0.54	0.55	0.49	0.09	
43					Casa 37	0.75	0.70	0.74	0.79	0.79	0.51	0.85	0.85	0.85	0.55	0.50	150	0.60	
44					Casa 38	0.35	0.30	0.34	0.39	0.39	0.03	1.40	0.75	0.75	0.45	0.45	0.60	150	
45					Demanda	1	2	3	3	2	4	4	6	4	2	2	1		
46					Demanda + Capacidad	36	37	38	38	37	39	39	41	39	37	37	36		
47					Distancia total recorrida en los 4 viajes = 0 km														
48																			
49					Tabla 2) Matriz de asignaciones														
50					Planta	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Casa 4	Casa 5	Casa 6	Casa 7	Casa 8	Casa 9	Casa 10	Casa 37	Casa 38	Suma	
51					Planta													0	
52					Casa 1													0	
53					Casa 2													0	
54					Casa 3													0	
55					Casa 37													0	
56					Casa 38													0	
57					Suma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
58					Tabla 3) Matriz de variables y operaciones auxiliares														
59					$u_1 =$	$u_2 =$	$u_3 =$	$u_4 =$	$u_5 =$	$u_6 =$	$u_7 =$	$u_8 =$	$u_9 =$	$u_{10} =$	$u_{37} =$	$u_{38} =$			
60					Planta														
61					Casa 1														
62					Casa 2														
63					Casa 3														
64					Casa 37														
65					Casa 38														
66					Suma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 8. Distribución completa del modelo en Calc. Fuente: elaboración propia.

La tabla 2 documenta las fórmulas utilizadas. En rangos solo se declara la de la primera celda, entendiéndose que las restantes son obtenidas por copia o relleno.

Tabla 2. Programación de fórmulas

Rango	Fórmula
F46:AQ46	F45+\$H2
H48	SUMA.PRODUCTO(E6:AQ44; E52:AQ90)
AR52:AR90	SUMA(E52:AQ52)
E91:AQ91	SUMA(E52:E90)
C98:C135	TRANSPONER(F95:AQ95)
F98:AQ135	\$C98-F\$95+F\$46*F53

Fuente: elaboración propia.

Resultados

El SOLVER de OpenOffice Calc tiene solamente un control del tiempo de ejecución interna del algoritmo Simplex de optimización que es de 100 segundos (línea resaltada del límite de tiempo de la figura 10, editable) [11], aunque si se cronometra el tiempo de manera externa desde que se se pulsa el botón "solucionar" hasta que este parámetro fuerza la conclusión, el tiempo resulta un poco mayor. Si la ejecución concluye antes de 100 segundos se tiene la certeza de que la solución reportada es óptima; pero si se ha alcanzado el tiempo límite, no hay seguridad de que la solución mostrada sea la mejor, por lo que es preferible aumentar el tiempo límite y volver a resolver. Esta acción debería repetirse hasta que el tiempo medido de manera externa sea inferior al tiempo límite, si realmente fuera significativo obtener una solución inmejorable.

En modelos relativamente pequeños (hasta 200 variables, por decir un número) el tiempo límite de 100 s es suficiente para llegar a la solución óptima, pero para más de 200 variables, como es en el caso actual, sí hay que tomar en cuenta lo asentado en el párrafo inmediato anterior. La figura 9 muestra el modelo introducido al SOLVER y las opciones seleccionadas en la figura 10; en ésta, las dos primeras evitan especificar de manera explícita que las asignaciones sean binarias y que las variables auxiliares sean enteras, al combinarse con el segundo y tercer bloques de restricciones de la figura 9.

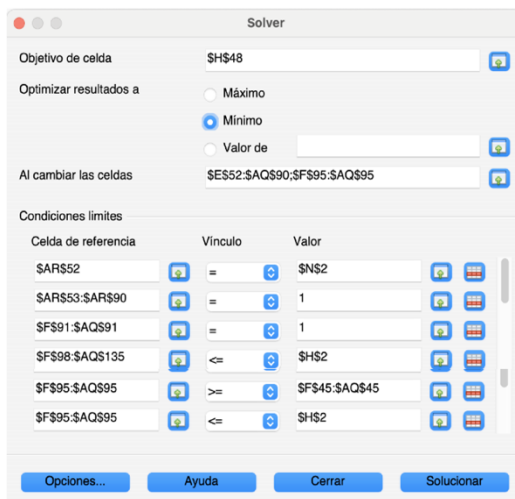


Figura 9. Modelo en la interfaz de usuario (GUI) de Solver. Fuente: elaboración propia.

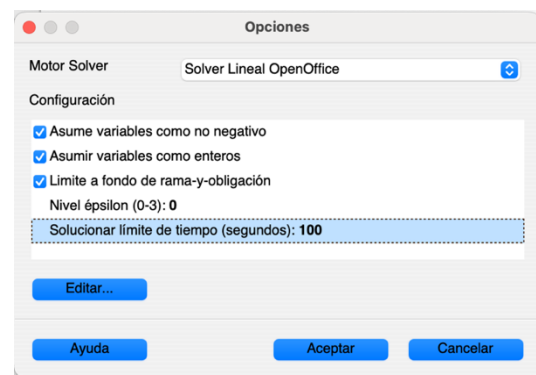


Figura 10. GUI de las opciones de SOLVER. Fuente: elaboración propia.

El tiempo de ejecución cronometrado fue de 118 segundos, obteniéndose un recorrido total de 18.40 km. Al ser este tiempo superior al límite de 100 s, se realizaron corridas adicionales con aumentos sistemáticos de 300 s hasta que el tiempo cronometrado (26 minutos y 6 segundos) fue menor que el límite de 1800 s. Se presume, entonces, que el recorrido de 17.41 km es el de la mejor especificación de los cuatro viajes necesarios. La tabla 3 y la figura 11 resumen los resultados de la experimentación.

Tabla 3. Resultados al cambiar el límite de tiempo

Límite	Duración		Distancia (km)
	(mm:ss)	(mm.cc)	
100	01:58	1.97	18.40
300	05:26	5.43	18.26
600	10:37	10.62	18.10
900	15:48	15.80	17.75
1200	20:59	20.98	17.62
1500	26:03	26.05	17.52
1800	26:06	26.10	17.41

Fuente: elaboración propia.

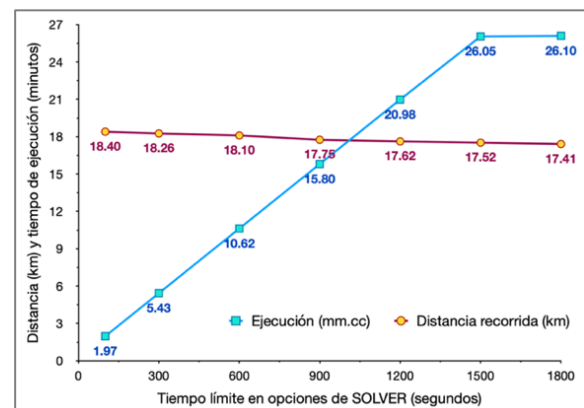


Figura 11. Resultados al cambiar el tiempo límite.

Fuente: elaboración propia.

En la gráfica de la figura 11 se aprecia claramente el notable incremento en el tiempo de ejecución del modelo: el último es 13 veces el inicial de 2 minutos, mientras que, en contraste, la distancia recorrida apenas se reduce 1 kilómetro. La parte final de la línea azul sugiere que es innecesario experimentar tiempos límite mayores a la media hora.

La mejor solución encontrada, presuntamente óptima, se presenta en la figura 12 aunque de forma parcial. En ella se ha utilizado el formato condicional para resaltar los "unos" y ocultar los "ceros" con la intención de facilitar la especificación de los cuatro recorridos; de éstos el único que se identifica totalmente es P, 29, 4, 3, 5, P (P es la planta y los números las casas).

Distancia total recorrida en los 4 viajes = 17.41 km

Tabla 2) Matriz de asignaciones

	Planta	Casa 1	Casa 2	Casa 3	Casa 4	Casa 5	Casa 6	Casa 7	Casa 8	Casa 9	Casa 10	Casa 11	Casa 28	Casa 29	Casa 30	Casa 31	Casa 37	Casa 38	Suma
Planta		1										1		1	1				4
Casa 1			1																1
Casa 2				1															1
Casa 3					1														1
Casa 4						1													1
Casa 5	1																		1
Casa 6											1								1
Casa 7									1										1
Casa 8										1									1
Casa 9																			1
Casa 10	1																		1
Casa 11																			1
Casa 12									1										1
Casa 26																	1		1
Casa 27																			1
Casa 28																		1	1
Casa 29					1														1
Casa 30										1									1
Casa 31																			1
Casa 32																			1
Casa 33																		1	1
Casa 34																			1
Casa 35																			1
Casa 36													1						1
Casa 37																			1
Casa 38	1																		1
Suma	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 12. Solución óptima. Fuente: elaboración propia.

La secuencia de cada viaje se establece partiendo de la fila de la planta y alternando destino y origen hasta terminar nuevamente en la planta. Los recorridos de los cuatro viajes se detallan en la tabla 4.

Tabla 4. Recorrido del reparto a domicilio en cada viaje

# viaje	Ruta (P=Planta; el resto es número de casa)	Carga (# garrafones)	# casas	Distancia (km)
1	P 1 2 25 27 36 28 37 34 13 14 15 35 23 17 16 P	35	15	9.74
2	P 11 24 19 18 21 20 6 10 P	29	8	2.51
3	P 29 4 3 5 P	13	4	0.65
4	P 30 9 12 7 8 22 26 31 32 33 38 P	35	11	4.51
TOTALES		112	38	17.41

Fuente: elaboración propia.

La numeración de los viajes no indica el orden en que deben efectuarse; éste es el que se decida por las razones que se consideren pertinentes.

En la fase de diagnóstico del proyecto de residencia profesional [10] en que se basa este artículo, dos semanas se dedicaron a la recopilación diaria de datos relevantes tales como tiempos de reparto, distancias de los recorridos, número de vueltas del vehículo, cantidad de garrafones entregados y número de clientes visitados.

La tabla 3 contiene las distancias de los recorridos diarios estudiados y las obtenidas de los modelos de optimización. Hay una reducción del 40% en los kilómetros recorridos, lo cual se traduce en ahorro de combustible, menor tiempo efectivo de trabajo –lo que permitiría aumentar la cartera de clientes con los mismos recursos actuales– y alargue del tiempo entre mantenimientos del vehículo. Aunque se atienden 159 clientes en el reparto semanal y los 181 de la cartera en el reparto de cada una y dos semanas, su distribución en los cinco días dedicados a la entrega no es la misma en el modo actual que en el propuesto.

Tabla 5 Distancias recorridas antes y después de la optimización

	Día	Distancia recorrida (km)	
		Actual	Propuesta
Reparto cada una y dos semanas	Lunes	53.30	17.41
	Martes	38.60	11.73
	Jueves	42.00	35.09
	Viernes	26.30	24.88
	Sábado	43.50	26.11
Reparto semanal	Lunes	13.00	14.28
	Martes	28.40	9.95
	Jueves	31.40	33.59
	Viernes	35.00	21.68
	Sábado	54.00	25.93
	TOTAL	365.50	220.65

Fuente: adaptación de la tabla 4.20, p. 69 en [10]

Trabajo a futuro

Cuando se agreguen más domicilios a una determinada zona de reparto, habrá que adicionarlos a la matriz de datos con la consecuente tediosa labor de calcular las distancias de manera directa mediante Google Maps o alguna otra aplicación equivalente. Lo que facilitaría enormemente esta actividad sería programar una macro en VBA (Visual Basic para Aplicaciones) que a través de una API (*Application Programming Interface*) que la automatizara.

También resultaría muy conveniente escribir otra rutina que fuera alimentada con la lista de domicilios y formara automáticamente la matriz de distancias y las otras dos del modelo de optimización, llamando al optimizador SOLVER de OpenOffice Calc para resolver el modelo.

Conclusiones

La obtención del recorrido óptimo de 17.41 km es a costa de esperar aproximadamente 24 minutos más a que termine la ejecución del modelo para un ahorro de 1 km con respecto de los 18.40 km que rinde el tiempo límite de 100 s estándar de Calc Solver. Del estudio de campo realizado, 1 km se recorre en alrededor de 1 minuto (por las condiciones de conducción en la zona del reparto); las labores de entrega de garrafones en cada casa (38 en lunes) se realizan en más o menos 7 minutos; y la recarga del vehículo es, exagerando, de media hora máximo. Por lo tanto, el recorrido óptimo da un aproximado de **6.72** horas, tiempo que está dentro del intervalo de una jornada normal de trabajo de 8 horas diarias. Mientras no cambie la lista de clientes de los lunes o sus demandas, los cuatro viajes son fijos.

En empresas no familiarizadas con la utilización de modelos de optimización puede ser difícil romper paradigmas y convencerlas de: 1º) Incorporarlos como valiosas herramientas de mejora de actividades; y 2º) Esperar "demasiado tiempo" la obtención de resultados. Lo primero requiere el ejercicio de habilidades de convencimiento y demostración práctica de su utilidad, y, en la situación actual, lo segundo se mitiga aceptando la solución del tiempo límite estándar de 100 segundos, que sin ser la mejor solo aumenta 5.69% el recorrido de los días lunes. Además, en el caso particular de Calc, los modelos de SOLVER no se guardan en el archivo y se tienen que introducir nuevamente cuando se tenga una actualización de la lista de domicilios o se modifique la demanda de garrafones.

El optimizador SOLVER de OpenOffice Calc, que cuenta únicamente con el algoritmo Simplex para resolver modelos de Programación Lineal, es apropiado para plantear y resolver modelos de tamaño mediano, como el expuesto en las páginas de este escrito –con las precauciones comentadas en el primer párrafo de la sección de

resultados– pero no para modelos mayores o con características que dificulten o hagan inviable su planteamiento en hoja de cálculo, como los casos descritos en [2-5].

El tiempo de ejecución del modelo depende no solamente del tiempo límite que se establezca en las opciones del Calc SOLVER sino también de la potencia computacional del equipo utilizado. Los resultados asentados en la tabla 3 y en la figura 11 se obtuvieron en un dispositivo portátil macOS Monterey versión 12.5 con 16 Gb de RAM, procesador Intel Core i7 de cuatro núcleos a 2.7 GHz.

El modelo matemático de programación lineal corresponde a un ACVRP, cuya formulación matemática es importante para el analista que lo programe en la hoja de cálculo pero no para quien en un momento dado lo utilice como cualquier otra aplicación, siendo solo suficiente capacitarlo para, en caso necesario, introducir el modelo en SOLVER, ejecutarlo e interpretar la solución.

Finalmente, la intención única de exponer un modelo lineal de optimización, planteado y resuelto en una aplicación de hoja electrónica de cálculo, para determinar la ruta de mínima distancia del recorrido diario de un vehículo repartidor de garrafones de agua, se ha cumplido al describir a detalle el procedimiento de modelado y solución de los viajes de los días lunes.

Referencias

- [1] H. A. Taha, *Investigación de Operaciones*, Madrid: Pearson, 2017.
- [2] M. Caramia y F. Guerriero, «A Milk Collection Problem with Incompatibility Constraints,» *Interfaces*, vol. 40, n° 2, pp. 130-143, 2010.
- [3] Y. Dang, M. Singh y T. T. Allen, «Network Mode Optimization for the DHL Supply Chain,» *INFORMS Journal on Applied Analytics*, vol. Articles in Advance, pp. 1-21, 2021.
- [4] T. Gifford, T. Opicka, A. Sinha, D. Vanden Brink, A. Gifford y R. Randall, «Dispatch Optimization in Bulk Tanker Transport Operations,» *Interfaces*, vol. 48, n° 5, pp. 403-421, 2018.
- [5] H. Hu, Y. Zhang, J. Wei, Y. Zhan, X. Zhang, S. Huang, G. Ma, Y. Deng y S. Jiang, «Alibaba Vehicle Routing Algorithms Enable Rapid Pick and Delivery,» *INFORMS Journal on Applied Analytics*, vol. 52, n° 1, pp. 27-41, 2022.
- [6] C. M. Pérez Ramírez y P. C. Ruiz Escamilla, «Optimización de la distribución de hielo de una empresa Hidalguense en el Estado de México,» *Revista de Tecnologías en Procesos Industriales*, vol. 2, n° 5, pp. 24-36, 2018.
- [7] C. A. Tovey, «Tutorial on Computational Complexity,» *Interfaces*, vol. 32, n° 3, pp. 30-61, 2002.
- [8] G. Erdogan, «An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems,» *Computers and Operations Research*, vol. 84, pp. 62-72, 2017.
- [9] Z. Borcinová, «Two models of the capacitated vehicle routing problem,» *Croatian Operational Research Review*, vol. 8, n° 2, pp. 463-469, 2017.
- [10] L. N. Hernández Briones, «Optimización de recursos y tiempo de entrega mediante un plan de distribución en la purificadora Agua Inmaculada,» TecNM/Pachuca, 2020.
- [11] The Apache Software Foundation, «Apache OpenOffice,» Comunidad de OpenOffice, 22 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.openoffice.org/es/>. [Último acceso: 26 Septiembre 2022].

Factores de riesgo ergonómico respecto a la manipulación de cargas en empresa de giro aguacatero

G. Chávez Esquivel¹; B. C. Suárez Espinosa²; A. Guerrero Campanur³

¹²³Academia de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Uruapan, Carr. Uruapan-Carapan no. 5555, Col. La Basilia, C.P. 60015, Uruapan, Michoacán

¹gilberto.ce@uruapan.tecnm.mx

²brenda.se@uruapan.tecnm.mx

³aaron.qc@uruapan.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

Se realizó un estudio para analizar el nivel de riesgo ergonómico dentro de una empresa dedicada al empaque de aguacate, mediante el método Manual Handling Assessment (MAC), evaluación sugerida por la norma NOM-036-1-STPS-2018 [6]; FACTORES DE RIESGO ERGONOMICO; APÉNDICE I; MANEJO MANUAL DE CARGAS; misma que señala el nivel riesgo en el levantamiento de cargas. Complementando el análisis con el método de Fuerza de Compresión de Disco (FCD), lo que permitió conocer la fuerza de compresión ejercida por los trabajadores. Logrando identificar los elementos que influyen de manera negativa en la salud, derivados de la manipulación manual de cargas. Los resultados obtenidos determinaron el porcentaje de los puestos que presentan condiciones de riesgo ergonómico evaluados por los métodos MAC y FCD.

Palabras clave: método, manipulación, cargas, riesgo.

Abstract

A study was carried out to analyze the level of ergonomic risk within a company dedicated to avocado packaging, using the Manual Handling Assessment (MAC) method, an evaluation suggested by the NOM-036-1-STPS-2018 standard; ERGONOMIC RISK FACTORS; APPENDIX I; MANUAL HANDLING OF LOADS; same that indicates the level of risk in lifting loads. Complementing the analysis with the Disc Compression Force (FCD) method, which allowed knowing the compression force exerted by the workers. Being able to identify the elements that negatively influence health, derived from the manual handling of loads. The results obtained determined the percentage of positions that present ergonomic risk conditions evaluated by the MAC and FCD methods.

Key words: method, handling, loads, risk.

Introducción

En la investigación se presenta un análisis de riesgo ergonómico de los empaques de aguacate referente al manejo manual de cargas, implementando la NOM-036-01-STPS-2018; FACTORES DE RIESGO ERGONOMICO; APÉNDICE I; MANEJO MANUAL DE CARGAS [6]. Esta normativa brinda los principios y herramientas para identificar los riesgos en la salud de los trabajadores causados a raíz de tareas que se realizan con el manejo manual de cargas. (Oficial, 2018). Actualmente dentro de las empresas del giro aguacatero, de forma muy recurrente, los trabajadores manifiestan alguna molestia en el cuerpo debido a alguna lesión que con el paso del tiempo se vuelve una enfermedad crónica, esto a causa de la manipulación de cargas, por no conocer los procedimientos más adecuados o seguros para la realización de la actividad, por lo que es de suma importancia se comience a informar al personal involucrado con las actividades manuales de carga, con el objetivo de obtener un ambiente de trabajo seguro. Cabe señalar, que además de la problemática ya descrita, las empresas deben cumplir con los requisitos de la normativa.

El objetivo de la investigación es el de identificar las condiciones que mejoren la seguridad en la salud de los trabajadores, cumpliendo con el avance necesario requerido por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social referentes al manejo manual de cargas con la ayuda del método Manual Handling Assessment (MAC) y el método de Fuerza Compresión de Disco (FCD). De acuerdo a los resultados obtenidos al menos el 75% de los puestos analizados presentan condiciones de riesgo ergonómico para ambas metodologías.

Metodología

Manual Handling Assessment Charts-HSE 2003 (MAC). El método MAC, se define como un instrumento de medición, fue utilizado en campo por los verificadores en Inglaterra.

MAC utiliza datos biomecánicos, psicofísica y elementos del espacio laboral del proceso. Primordialmente utiliza las siguientes características:

- Evaluación cuantitativa en campo como metodología.
- Valores para evaluar los peligros (adición de los peligros individuales).
- Tiene un rango de uso muy extenso.
- La validez del estudio se efectuó en el país de Chile.

Si se utiliza MAC para la evaluación de actividades con manipulación manual de cargas [4], se sugiere lo siguiente:

- Utilizar lapsos idóneos de tiempo para analizar cada labor. Es primordial constatar que la actividad a evaluar representa el procedimiento normal de trabajo. Analizar referencias del proceso con apoyo de los responsables en prevención de riesgos, así como, supervisores y colaboradores.
- Seleccionar tareas adecuadas de evaluación (levantamiento/ descenso individual, levantamiento/descenso en equipo o transporte de carga). Si existen tareas combinadas, será necesario evaluarlas en su totalidad.
- Seguir el diagrama de flujo indicado, considerando los niveles de riesgo de cada factor.
- Conocer la clasificación de riesgos ilustrados en la figura 1:



Figura 1.- Clasificación nivel de riesgo metodología MAC (Fuente: Ergomedía)

El diagrama de flujo para valorar los riesgos que pueden ocasionar las actividades de carga o descarga se representa en la figura 2:

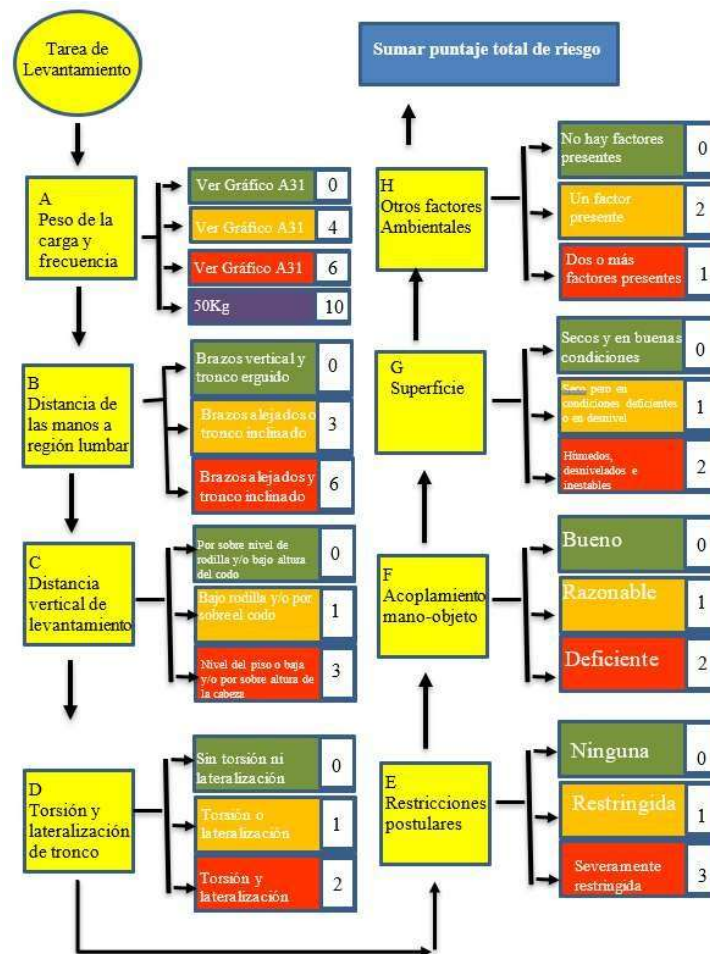


Figura 2.- Flujograma para la evaluación metodológica MAC (Fuente: Ergomedía)

Los niveles de actuación que sugiere la metodología MAC se muestran en la figura 3:

Valor	Clase	Significado
0 a 4	1	No son necesarias gestiones correctivas
5 a 12	2	Necesarias gestiones correctivas
13 a 20	3	Necesarias gestiones correctivas a la brevedad
21 a 32	4	Necesarias gestiones correctivas de inmediato

Figura 3.- Niveles de actuación metodológica MAC (Fuente: Ergomedía)

Método Fuerza de Compresión de Disco (FCD). Este método evalúa la fuerza de compresión existente en los discos intervertebrales y determina si el levantamiento manual de carga implica riesgo [1].

Determina el cálculo del esfuerzo lumbar que ejerce un trabajador por mantener una carga con la espalda encorvada. Este esfuerzo tensional se da por las fuerzas de reacción que surgen por mantener una carga con la espalda encorvada. La fuerza que sufre la columna incrementa en la región L5/S1 (zona entre la 5ta vértebra lumbar y la 1ra vertebra sacra). Esta región de la espalda es la que más cargas mecánicas soporta y por consiguiente tiene más probabilidades de lastimarse [1].

Los valores determinados por los esfuerzos en L5/S1, están fundamentados por un patrón biomecánico bidimensional del plano sagital. Este patrón calcula el esfuerzo en la parte baja de la espalda considerando el peso (figura 4), la estatura, la carga y la posición que utiliza el trabajador para cumplir con la tarea. Utiliza las siguientes variables:

- P: Peso de la carga.
- Lp: Distancia del centro de gravedad de la carga a la unidad vertebral L5/S1.
- W: Peso del tronco, cabeza, cuello y brazos.
- Lw: Distancia del centro de gravedad del conjunto tronco, cuello, cabeza y brazos a la unidad vertebral L5/S1.
- M: Fuerza que deben realizar los músculos lumbares para poder mantener esa posición.
- Lm: Distancia del punto de inserción de los músculos lumbares a la unidad vertebral L5/S1.
- α : Ángulo de inclinación de la espalda.

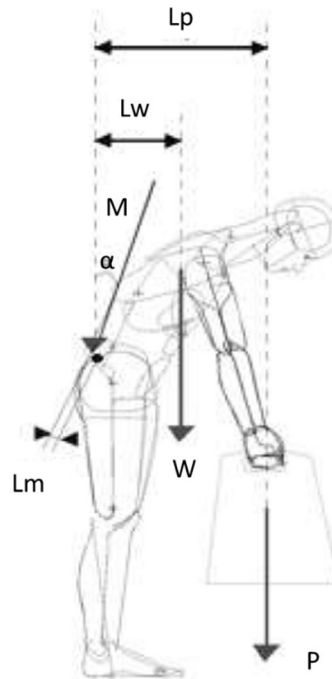


Figura 4.- Esfuerzo lumbar (Álvarez, 2009)

Es necesario obtener el esfuerzo realizado por los músculos lumbares. Se debe utilizar la ecuación del equilibrio de momentos respecto a L5/S1, el dato que no se conoce es el de M.

$$\sum \tau = W \times L_w + P \times L_p - M \times L_m = 0$$

El peso W ($W_{\text{tronco}} + W_{\text{cabeza/cuello}} + W_{\text{brazos}}$) corresponde a lo que pesa el trabajador, ya que cada segmento corporal de las personas corresponde a una parte proporcional de lo que pesa el cuerpo en su totalidad (W_{total}):

$$W_{\text{tronco}} = 50\% \text{ de } W_{\text{total}}$$

$$W_{\text{cabeza+cuello}} = 8.4\% \text{ de } W_{\text{total}}$$

$$W_{\text{brazos}} = 5.1\% \text{ de } W_{\text{total}}$$

La distancia Lw, se obtiene según la postura adoptada, partiendo de los centros de gravedad de cada uno de los segmentos corporales involucrados en la acción:

$$L_w = \frac{W_{\text{tronco}} \times L_{\text{tronco}} + W_{\text{cab+cue}} \times L_{\text{cab+cue}} + W_{\text{brazos}} \times L_{\text{brazos}}}{W_{\text{tronco}} + W_{\text{cab+cue}} + W_{\text{brazos}}}$$

El peso de la carga a mantener (P) (figura 5) y la distancia de la misma a L5/S1, Lm, se obtiene por medio de evaluaciones médicas aproximadamente a 5 cm:

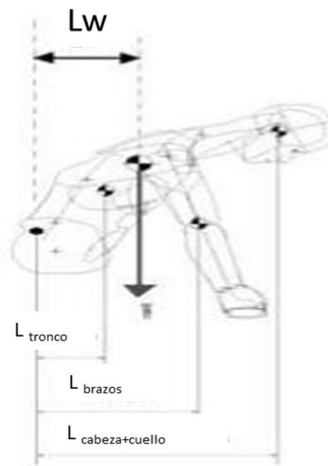


Figura 5.- Peso de la carga (Álvarez, 2009)

Conocido el esfuerzo de los músculos lumbares, se determinan las tensiones mecánicas en L5/S1.

C: Fuerza de compresión (normal). S: Fuerza de cortante (tangencial).

Gracias a las ecuaciones de equilibrio de los ejes paralelo y perpendicular a la columna vertebral:

$$\begin{aligned} \text{Tensión mecánica normal } \Sigma F_x &= Wx \text{sen}\alpha + P x \text{sen}\alpha - S = 0 \\ \text{Tensión mecánica tangencial } \Sigma F_y &= M + Wx \text{cos}\alpha + P x \text{cos}\alpha - C = 0 \end{aligned}$$

De estas dos ecuaciones resulta la fuerza de compresión (c) y la fuerza cortante que soporta el disco L5/S1, debido a que las demás variables son conocidas [1].

Materiales

Se realizaron las evaluaciones en los cuatro puestos de trabajo [3

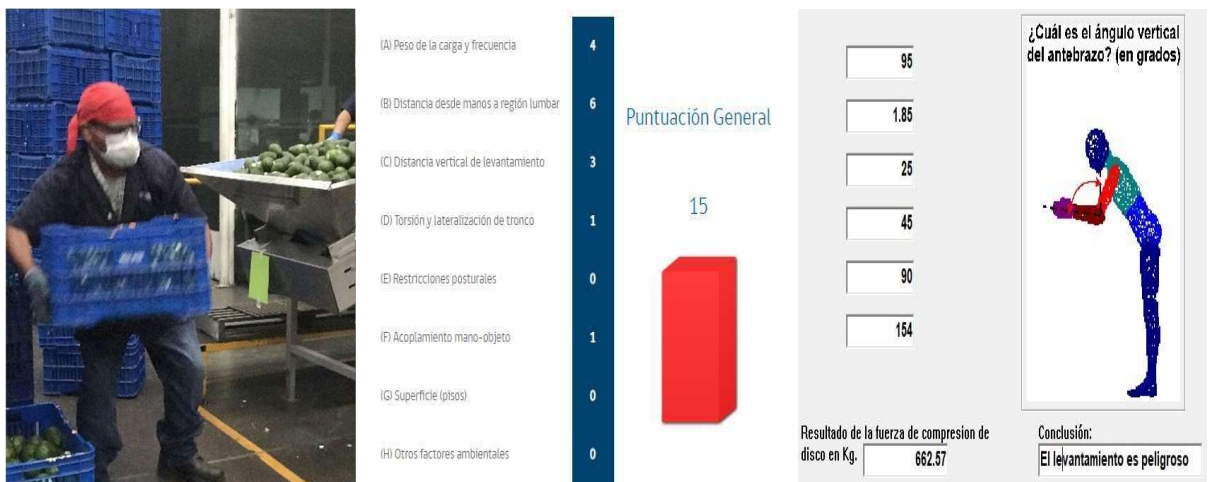
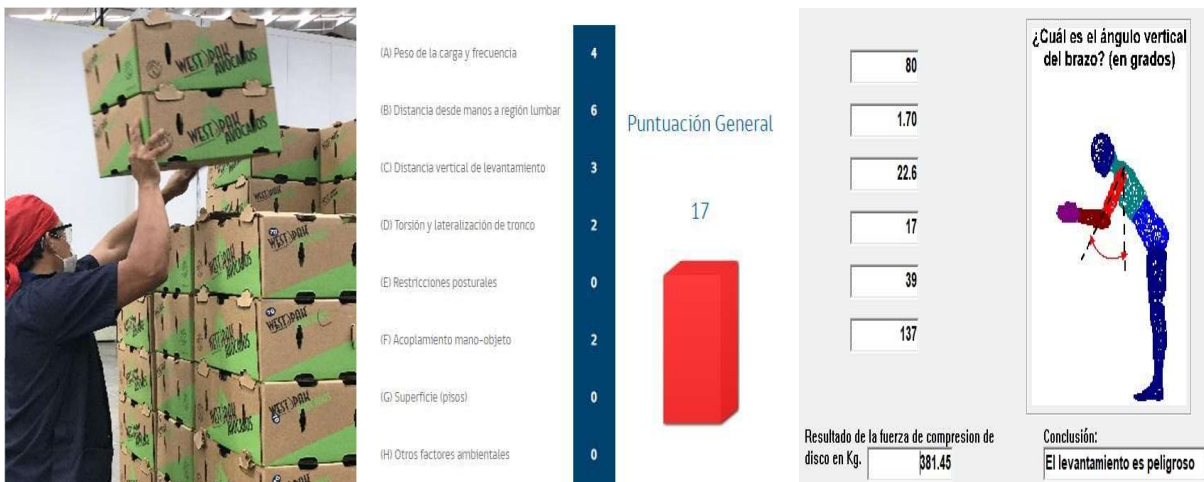
] en donde existe la manipulación manual de cargas: alimentación (figura 6), empackado (figura 7), estibado (figura 8), enmallado (figura 9).

Para conocer el nivel de riesgo se aplicó el método MAC y para conocer la fuerza de compresión [2] se utilizó el software implementado por la Sociedad de Ergonomistas de México AC [5].

Resultados y discusión



Figura 6.- Alimentación (Fuente: Elaboración propia)



Para lograr la comparativa de los resultados y así observar los niveles de riesgo de los cuatro puestos de trabajo en donde existe la manipulación manual de cargas se concentraron los resultados en la Tabla 1.

Tabla 1.- Resultados método Manual Handling Assessment (MAC) y método Fuerza de Compresión de Disco (FCD)

RESULTADOS		
	MAC	FCD
ALIMENTADOR EMPAQUE	19	554.73
EMPAcado	6	363.37
ESTIBADO	17	381.45
ALIMENTADOR ENMALLADO	15	662.57

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos con la metodología MAC, específicamente del análisis del puesto de empaque indica que existe un nivel de riesgo moderado. Sin embargo, en los otros tres puestos; alimentación, estibado y enmallado; el nivel de riesgo es alto, requiriéndose introducir mejoras pronto, puesto que la situación del personal que efectúa dichas actividades pudiera suscitar lesiones de espalda en una proporción significativa. Lo que indica que el 75% de los puestos analizados tienen un alto nivel de riesgo.

En el caso de los resultados obtenidos del método FCD, todos los puestos de trabajo representan un riesgo a los trabajadores debido a la bipedestación y pérdida de la vertical. Además, las estaciones de trabajo carecen de diseños considerando las dimensiones antropométricas de la población. Dando como levantamiento peligroso el 100% de los puestos analizados.

Conclusiones

Las herramientas, máquinas, puestos de trabajo y vestuario, entre otros implementos, deben ser proporcionales a las dimensiones de los trabajadores (usuarios). Existen estudios que demuestran la evidencia de la asociación entre la postura de trabajo y las consultas por problemas musculo esqueléticos, revelando que las enfermedades que afectan el sistema musculo esquelético generan cifras muy altas de ausentismo.

Es complicado considerar a todo el personal laboral, en toda población existen diferencias de tamaño, pequeñas y muy grandes. Por esta razón los diseños de las máquinas seleccionadoras deberán estandarizarse a las medidas antropométricas del 95% percentil de la población. Esto significa, excluir el 5% percentil de la población más grande o el 5% percentil de la población más pequeña, según las dimensiones requeridas para cada población.

Las personas que laboran en las empresas de giro aguacatero, en especial, las personas con actividades que requieren la manipulación manual de cargas de trabajo, deben tener sus estaciones de trabajo de acuerdo a sus medidas antropométricas, así mantendrán su salud en buen estado y aumentarán su seguridad laboral con respecto a la disminución de las enfermedades en su sistema musculo esquelético.

Referencias

- [1] F. J. Álvarez, Ergonomía y Psicología Aplicada. Manual para la formación del especialista., Valladolid: Lex Nova, 2009.

- [2] A. Aguilar y G. Chávez, «Detección de disergonomía en las estaciones de trabajo de las empacadoras de aguacate,» ITSU, Uruapan, Michoacán, 2017.
- [3] C. Estrada y G. Chávez, «Implementación de NOM-036-01-STPS- 2018; factores de riesgo ergonómico en el trabajo; Apéndice 1; manejo manual de cargas.,» ITSU, Uruapan, Michoacán, 2021.
- [4] S. Noriega, Mejoramiento ergonómico de estación de empaque. Riesgos asociados a la manipulación manual de cargas., México, 2007.
- [5] S. d. E. d. México, «Análisis Fuerza de Compresión en Discos,» [En línea]. Available: <http://www.semac.org.mx/index.php/ergonomia/analisis.html>. [Último acceso: 2021].
- [6] D. O. d. I. Federación, «NORMA Oficial Mexicana NOM-036-1-STPS-2018,» 23 Noviembre 2018. [En línea]. Available: https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/7468/stps11_C/stps11_C.html. [Último acceso: 2021].
- [7] Ergomedia, «Campus de Prevención Instituto de Seguridad Laboral - Ministerio del Trabajo y Previsión Social,» [En línea]. Available: https://ergomedia.isl.gob.cl/app_ergo/mac/. [Último acceso: 2021].

Aplicación de SMED para reducir tiempos de preparación de máquinas CNC en empresa metalmecánica

C. A. S. King Martínez^{1*}, F. Ortiz Flores^{2*}, F. Ortiz López³, M. E. Gurruchaga Rodríguez², J. L. Hernández Mortera²

¹Alumno MII, División de estudios de posgrado e investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba. Avenida Oriente 9, número 852, col. Emiliano Zapata, C.P. 94320 Orizaba, Ver., México.

²División de estudios de posgrado e investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba. Avenida Oriente 9, número 852, col. Emiliano Zapata, C.P. 94320 Orizaba, Ver., México.

³Logística, Crown Envases México. Avenida Oriente 107, número 114, col. Bondonjito, C.P. 07850 Gustavo A. Madero, CDMX, México.

^{1*} King_cb9@hotmail.com ^{2*} fer.ort.f@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

El presente artículo presenta la aplicación de la técnica SMED para reducir los tiempos de preparación de máquinas CNC en el área de maquinado de una empresa metalmecánica. Se optó por el uso de la técnica SMED debido a que es una de las técnicas para reducir tiempos de preparación, además de ser una técnica altamente validada, de rápida implementación y efectiva con la mayoría de las máquinas industriales. Con base en la implementación de la técnica SMED se definió un indicador de desempeño: tiempo de preparación de las máquinas CNC; y se determinaron causas que lo afectaban, con la finalidad de disminuirlo. Con la aplicación de la técnica SMED, método por puntos, diagrama de afinidad, lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa y el estudio de tiempos, se logró una reducción mayor al 50% del tiempo de preparación de máquinas CNC. Reducción validada mediante una prueba de hipótesis.

Palabras clave: SMED, CNC, maquinado, prueba de hipótesis.

Abstract

This article presents the application of the SMED technique to reduce the preparation times of CNC machines in the machining area of a metalworking company. The use of the SMED technique was chosen because it is one of the techniques to reduce preparation times, in addition to being a highly validated technique, quick to implement and effective with most industrial machines. Based on the implementation of the SMED technique, a performance indicator was defined: preparation time of the CNC machines; and the causes that affect it were determined, to reduce it. With the application of the SMED technique, point method, affinity diagram, brainstorming, Ishikawa diagram and time study, a reduction of more than 50% of the preparation time of CNC machines will be modified. Reduction validated through a hypothesis test.

Key words: SMED, CNC, machining, hypothesis test.

Introducción

La permanencia en el mercado para las empresas manufactureras ha sido un gran desafío, ya que la competitividad se vuelve cada vez más grande e importante, debido a la aceleración del cambio tecnológico y a la apertura de nuevos mercados [1], al igual que a la cambiante demanda por parte del cliente; por lo tanto, las empresas se han visto en la necesidad de mejorar sus procesos productivos continuamente, ya que mantenerse en un mundo competitivo depende en gran parte de tener una elevada eficiencia y productividad [1].

En los procesos productivos la reducción de los tiempos de cambios de utillajes es una oportunidad para mejorar [2], lo cual contribuye al logro de permanecer dentro del mercado; optimizando el tiempo para dar respuesta a la

cambiante demanda, lo cual es uno de los factores importantes que, si se logra, de manera correcta, volverá a la empresa un competidor viable y confiable, posicionándola sobre el resto de la competencia.

La empresa metalmecánica de la región de Río Blanco, Veracruz, debido a la demanda cambiante de productos de sus clientes, se ve en la necesidad de optimizar los procesos de preparación de las máquinas, con la finalidad de agilizar la producción y cumplir, en tiempo y forma, con sus pedidos. Una de las técnicas para llevar a cabo la reducción de los tiempos de preparación de las máquinas es *SMED (Single Minute Exchange of Die)*, ya que es una técnica de rápida implementación, altamente validada y efectiva en las instalaciones industriales y con la mayoría de las máquinas [3]. La técnica *SMED* menciona que el cambio de herramientas y utillajes debe realizarse en menos de 10 minutos [4]; logrando beneficios como el incremento en la velocidad para dar respuesta, disminución de inventarios y aumentando la productividad, al igual que un incremento en la flexibilidad de operación [5].

Esta técnica desarrolla una metodología compuesta por cuatro fases, para lo cual es importante conocer los conceptos de operaciones internas: operaciones que se realizan con la máquina apagada; y operaciones externas: operaciones que se realizan con la máquina encendida [4]; previamente a su aplicación. El objetivo de la técnica *SMED* es reducir el tiempo de preparación de las máquinas empleadas para la fabricación de productos, mediante la optimización de las operaciones realizadas en los cambios de herramientas y utillajes, sin dejar a un lado la calidad de éstos [6]. *SMED* se compone de cuatro [4]: Identificación de operaciones internas y externas, separar las operaciones internas de las externas, convertir las operaciones internas en externas y perfeccionar las operaciones internas y externas.

La implementación de *SMED* se ha llevado a cabo no sólo por herramientas de ingeniería industrial, sino por como son empleadas e interrelacionadas para lograr resultados [7]. *SMED* se ha utilizado en conjunto con varias técnicas de la ingeniería industrial, por ejemplo: con el diagrama de afinidad, ya que éste sirve para clasificar ideas generadas, poder observarlas claramente y visualizar áreas de oportunidad [8]; con la técnica lluvia de ideas porque permite generar ideas acerca de un tema en específico [9]; con el método por puntos, ya que permite seleccionar nuevos proyectos, áreas de oportunidad o ideas, ponderando factores de preferencia para poder tomar una decisión [10]; con el diagrama de Ishikawa porque permite observar la relación que existe entre una característica de calidad y determinar las causas principales que la afectan [11]; con el estudio de tiempos, ya que permite llevar a cabo el registro del tiempo que se invierte en la ejecución de una tarea específica [12], entre otras más.

Metodología para reducir el tiempo de preparación de máquinas

1. Obtener un panorama general de la empresa bajo estudio

Para la obtención de un panorama general de la empresa bajo estudio se realizaron las siguientes actividades:

- Conocer antecedentes de la empresa. Esta actividad, que consistió en revisar documentos y realizar pláticas con el dueño, encargados de áreas productivas y personal administrativo, permitió determinar la ubicación geográfica y estrategia organizacional de la empresa: misión, visión y valores.
- Conocer áreas que conforman a la empresa. En la empresa laboran 30 personas distribuidas en 7 áreas: gerencia, área de contabilidad, área de compras, área de ingeniería y diseño, área de maquinado, área de ensamble y, área de pruebas.

2. Identificar problemáticas y áreas de oportunidad

Para identificar problemáticas y áreas de oportunidad, con base en la percepción de la empresa y trabajadores, se realizó lo siguiente:

- Realizar recorridos con el dueño, para conocer las problemáticas que él considera que existen en su empresa; de aquí se determinó que a él le preocupan las áreas operativas.
- Entablar conversación con personal de las áreas operativas para conocer, bajo su criterio, problemáticas en sus áreas. Esto condujo a las tres áreas de oportunidad que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Diagrama de afinidad de las problemáticas encontradas en la empresa bajo estudio.

	Áreas de Oportunidad		
	Maquinado	Ensamble	Entregas
Problemáticas Encontradas	* Tiempos altos en la producción de componentes de tableros. * Movimientos excesivos por parte del personal operativo.	* Retrasos en los tiempos de ensamble.	* Retrasos en los tiempos de entrega establecidos.

Tabla 2 Factores relevantes para selección de área de oportunidad.

Factor relevante	Descripción
Interferencia laboral	La mejora en el área de oportunidad no debe interferir con las actividades de dicha área.
Importancia	Que se les dé solución a las problemáticas del área de oportunidad más importante.
Número de problemáticas	Que se seleccione el área de oportunidad con mayor número de problemáticas.
Cooperación de los trabajadores	Contribución y disponibilidad por parte de los trabajadores para las mejoras del área.
Economía	Que la solución a las problemáticas del área sea económica.

3. Seleccionar área de oportunidad

Para definir un área de oportunidad para el desarrollo del proyecto, se realizaron los siguientes pasos:

- Definición de factores, mediante lluvia de ideas, con la participación del dueño de la empresa y personal operativo. El resultado: 10 factores.
- Selección de factores relevantes, para definir área de oportunidad, con base en la experiencia empírica y necesidad de los trabajadores y dueño; la Tabla 2 muestra los 5 factores relevantes seleccionados.
- Selección de área de oportunidad prioritaria, utilizando la técnica del método por puntos, mediante la realización de los siguientes pasos:
 - Asignación de puntaje de 0 a 100 a factores relevantes para determinar su importancia; a mayor puntaje mayor importancia. Estos se colocaron en la columna “Peso” de la Tabla 3.
 - Evaluación de los cinco factores relevantes conforme a las áreas de oportunidad: maquinado, ensamble y entregas; empleando una escala de vocales: A= 4, E= 3, I= 2, O= 1 y U= 0.
 - Selección de área de oportunidad con la mayor puntuación, obtenida de multiplicar el peso por la evaluación de los factores (Tabla 3). Aquí se decidió enfocar los esfuerzos en el área de Maquinado, la cual tuvo una puntuación de 1,685 puntos.

Tabla 3 Método por puntos para selección de área de oportunidad.

VALORACIÓN DE LAS ÁREAS DE OPORTUNIDAD					
Fábrica/sector: Confidencial 1		Proyecto: Selección de área de oportunidad		Fecha: 11/03/22	
Ponderación establecida por: Carlos King Acotaciones hechas por: Carlos King Totales por: Carlos King					
FACTORES RELEVANTES	Peso	Evaluación de factores en cada área de oportunidad			COMENTARIOS
		Maquinado	Ensamble	Entregas	
1. Poco tiempo de interferencia en las actividades del área.	100	A	E	E	
		400	300	300	
2. Mayor número de problemáticas.	100	E	I	O	
		300	200	100	
3. Mayor importancia para el dueño y la empresa.	95	E	O	A	
		285	95	380	
4. Beneficio económico.	90	A	I	O	
		360	180	90	
5. Disposición para colaborar por parte del personal.	85	A	I	I	
		340	170	170	
TOTALES		1,685	945	1,040	

3. Definición de indicador de desempeño

Con base en las opiniones de los empleados y dueño de la empresa se realizó el diagrama de Ishikawa de la Figura 1, para determinar causas que afecten los tiempos grandes de preparación en el área de oportunidad seleccionada: área de maquinado. Con este diagrama se determinó que esta área no tiene un proceso de maquinado estandarizado, por lo tanto, ocasiona que la entrega de componentes a otras áreas de la empresa y de pedidos a los clientes se realice fuera de la fecha prometida, los tiempos de maquinado sean mayores, las máquinas CNC no se utilicen adecuadamente y que se tenga una afectación económica. Como esta problemática se ve afectada por varias causas, que el dueño quiere mejorar, se determinó que el indicador de desempeño a evaluar fuera el “**Tiempo de preparación de máquinas**”

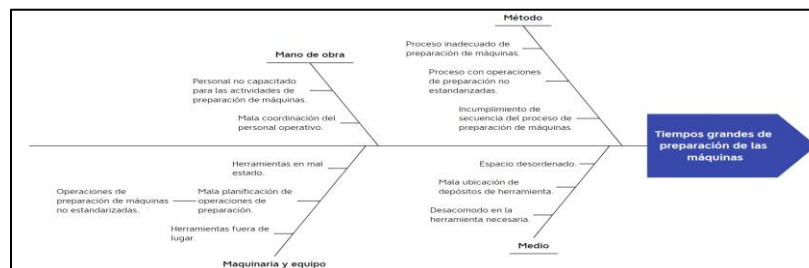


Figura 1 Diagrama de Ishikawa de tiempos grandes de preparación de máquinas.

6. Implementación de la técnica SMED

Para reducir los tiempos de preparación de las máquinas CNC se aplicaron las cuatro fases de la técnica SMED:

- Fase preliminar: Identificación de operaciones internas y externas
 - En el desarrollo de la primera fase de la técnica SMED se realizó lo siguiente:
 - se obtuvo un listado de las operaciones de preparación que el personal operativo realiza en la preparación de las máquinas CNC.
 - se realizó un diagrama de flujo de proceso para mostrar los tiempos de duración de cada una de las actividades, así como el tipo de actividad: operación, transporte, inspección, almacenamiento y demora (Tabla 4).
 - Se midió el tiempo que tarda el proceso de preparación actual mediante los siguientes pasos:
 - Toma de tiempos preliminar. Para los tiempos de preparación de las máquinas CNC se contemplaron seis ciclos con el objetivo de obtener una muestra (Tabla 5).

Tabla 4 Diagrama de flujo, **parcial**, de proceso de preparación de máquinas CNC.

Diagrama de flujo de proceso de preparación de máquinas CNC							
Actividad: Montado, desmontado, traslado y verificado.							
Resumen Presente			Datos				
●	Operaciones	20	Página: 1 de 1				
■	Transporte	6	Enfoque: Actual.				
→	Inspección	10	Empresa: Confidencial 1.				
⬇	Demoras	0	Área: Maquinado CNC.				
⬇	Almacenamiento	1	Tipo diagrama: Operación.				
Tiempo total= 73.17 minutos			Elaboró: C.A.S.K.M.				
			Fecha: 27/06/22				
No.	Actividad	Símbolo					Tiempo (minutos)
		Oper.	Inspecc.	Transp.	Demor.	Almac.	
1	Desmonta la última pieza maquinada.	●					0.47
2	Traslada la pieza a mesa de producto terminado.	■		→			0.7
3	Regresa al centro de maquinado.	→					0.49
35	Desmonta la pieza maquinada.	●					0.55
36	Traslada la pieza terminada a mesa de piezas terminadas.	■		→			0.43
37	Almacena la pieza terminada.	⬇					0.16
Total		20	6	10	0	1	73.17

Tabla 5 Toma de tiempos, **parcial**, e Identificación de operaciones internas y externas, **parcial** de preparación para la preparación de máquinas CNC.

No.	Actividad	Ciclos (Tiempo en minutos)						Tiempo promedio (min)	Tipo de operación	Tiempo (seg)	Porcentaje de contribución		
		1	2	3	4	5	6						
1	Desmonta la última pieza maquinada.	0.63	0.79	0.67	0.49	0.19	0.14	0.39	0.47	Interna	28.29	0.64	
2	Traslada la pieza a mesa de producto terminado.	0.17	0.34	0.74	1.02	1.14	0.75	0.77	0.70	Interna	42.26	0.96	
.	
36	Traslada la pieza terminada a mesa de piezas terminadas.	0.21	0.19	0.31	0.29	0.71	0.75	0.55	0.43	Interna	25.80	0.59	
37	Almacena la pieza terminada.	0.13	0.22	0.11	0.28	0.09	0.07	0.24	0.16	Interna	9.77	0.22	
Tiempo Total (min)= x		72.70	74.50	83.46	74.40	69.02	70.97	$\sum x = 445.05$	67.12	73.17		4,390.03	4,390.03
x^2		5285.29	5550.25	6965.57	5535.36	4763.76	5036.74	$\sum x^2 = 33,136.97$					

- Cálculo del número de ciclos óptimos con la finalidad de dar validez estadística, para máquinas CNC, realizando las siguientes actividades:
- Se calculó el número de ciclos óptimos mediante el método estadístico por fórmula directa (Ecuación 1). Los datos se tomaron de la tabla 5.

$$n = \left[\frac{40\sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right]^2 = \left[\frac{40\sqrt{(6)(33,136.97) - (445.05)^2}}{(445.05)} \right]^2 = 6.077 \approx 7 \text{ ciclos} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

- n= Tamaño de la muestra a obtener.
- n'= Número de observaciones del estudio preliminar.
- ∑= Sumatoria de valores.
- 40= Es una constante.

- Medición de tiempos de los ciclos faltantes. Como el número de ciclos óptimos es siete, se tomó un ciclo de mediciones adicionales, los tiempos se muestran en la Tabla 5.
 - Se identificaron las operaciones de la Tabla 5 en internas y externas. El resultado mostró que los operadores consideraban todas las operaciones como internas y, por lo tanto, el tiempo promedio del tiempo de cambio de preparación era de **73.17 minutos** (Tabla 5).
 - Fase 1: Separación de operaciones de preparación internas y externas
 En la fase 1 de la técnica *SMED*, se ejecutaron las siguientes actividades para separar las operaciones internas y externas, y para verificar su correcta ejecución:
 - Se analizaron las operaciones internas de la Tabla 5, con base en el criterio del personal operativo, para determinar cuáles podían ejecutarse de manera externa; determinando 10 de éstas como operaciones externas: operación 5, 7, 12, 13, 14, 17, 18, 22, 23 y 24; que deben ser realizadas durante el maquinado de la última pieza del pedido anterior.
 - Se sumaron los tiempos de estas operaciones identificadas como externas dando un total de **25.31 minutos** (Tabla 6) y este tiempo se restó al tiempo promedio de **73.17 minutos** (Tabla 5) obteniendo un tiempo total de operaciones internas de **47.88 minutos** (Tabla 6). En resumen, se logró una reducción de tiempo de preparación de **25.29 minutos/máquina**.
 - Se elaboró una lista de verificación preliminar (Tabla 7), para operaciones de preparación internas y externas para asegurar la correcta ejecución de éstas.
 - Se elaboró lista de verificación preliminar, para equipo de seguridad, herramientas y utillajes requeridos para evitar interrupciones en el proceso de preparación. Una tabla similar se muestra en la fase 3 de *SMED*: estandarización del proceso.

Tabla 6 Separación de operaciones internas y externas; **Tabla parcial.**

Operaciones de preparación					
Internas			Externas		
Oper.	Concepto	Tiempo (Min.)	Oper.	Concepto	Tiempo (Min.)
1	Desmonta la última pieza maquinada.	0.47	5	Analiza la pieza a maquinar.	3.73
2	Traslada la pieza a mesa de producto terminado	0.70	7	Busca las calzas de soporte para prensa del centro de maquinado.	3.74
.
.
.
36	Traslada la pieza terminada a mesa de piezas terminadas.	0.43	23	Copia el programa de control numérico (CN) en memoria USB.	2.35
37	Almacena la pieza terminada.	0.16	24	Regresa al centro de maquinado.	0.37
Total		47.88	Total		25.31

Tabla 7 Lista de verificación preliminar, **parcial**, de operaciones de preparación de máquinas CNC.

Lista de verificación de ejecución de operaciones de preparación de máquinas CNC					
Ejecutó:		Responsable de área:		Fecha:	
Secuencia a realizar	Operaciones externas	¿Operación ejecutada?		Operaciones internas	¿Operación ejecutada?
1	Analiza la pieza a maquinar.	Sí	No		
2	Busca las calzas de soporte para prensa del centro de maquinado.	Sí	No		
.	.	.	.		
.	.	.	.		
9	Copia el programa de control numérico (CN) en memoria USB.	Sí	No		
10	Regresa al centro de maquinado.	Sí	No		
11				Desmonta la última pieza maquinada.	.
12				Traslada la pieza a mesa de producto terminado.	.

36				Traslada la pieza terminada a mesa de piezas terminadas.	Sí No
37				Almacena la pieza terminada.	Sí No

- Fase 2: Conversión de operaciones de preparación internas en externas
 En el desarrollo de la segunda fase de la técnica *SMED*, en compañía del personal operativo, se llevaron a cabo las siguientes actividades para convertir las operaciones internas en externas:
 - Analizar operaciones internas. El análisis se realizó con base en el tiempo de ejecución de las operaciones de preparación internas y con base en su proceso de ejecución. Las operaciones 19 y 20 presentaron potencial para ser convertidas en operaciones externas, las cuales se presentan en la Tabla 8, en donde se presenta una pequeña descripción de la situación actual de cada una, la mejora para esta operación y el resultado obtenido.
 - Clasificar operaciones internas y externas, así como la secuencia en la que deben ser realizadas; el resultado se muestra en la Tabla 9.

Tabla 8 Operaciones con potencial para ser convertidas en operaciones externas

Operaciones para convertir en operaciones de preparación externas			
Operación	Actual	Mejora	Resultado
19. Montado de herramientas y boquillas a los holders.	La operación 19 presenta un tiempo de ejecución de 15.29 minutos, siendo la operación interna con tiempo más alto. De acuerdo con el operador, para llevar a cabo esta operación se deben desmontar los holders del carrusel de la máquina CNC, los cuales fueron utilizados en el maquinado del pedido anterior. Posteriormente al desmontado, se llevan a la parte trasera de la máquina y se montan las herramientas y boquillas a los holders para ser utilizadas.	Se encontraron holders, boquillas y herramientas de corte, que no se utilizaban, de esta manera se habilitó un juego extra de holders con sus respectivas boquillas y herramientas de corte para ser montados antes del desmonte de la pieza del pedido anterior.	Se logró un ahorro de tiempo para realizar externamente la operación 19, mediante la habilitación de holders con sus respectivas boquillas y herramientas de corte.
20. Lleva los holders con herramientas a la parte frontal del centro de maquinado.	La operación 20 presenta un tiempo de ejecución de 2.01 minutos, a pesar de no presentar un tiempo de ejecución alto, esta operación es dependiente de la operación 19, puesto que una vez que se montan las boquillas y herramientas de corte en los holders se deben llevar a la parte frontal de la máquina CNC y así montarlos en el carrusel de ésta.	La operación 20 se vio afectada debido a que tiene dependencia de la operación 19, además es consecutiva en la secuencia para ser realizada, por esta razón se convirtió en operación de preparación externa.	De la misma manera que la operación 19, al convertir en operación de preparación la operación 20, se logró un ahorro de tiempo en el tiempo de preparación de las máquinas CNC.

Tabla 9 Clasificación parcial, actualizada, de operaciones internas y externas después de la conversión de operaciones internas a externas.

Operaciones de preparación clasificadas			
Internas		Externas	
Oper.	Concepto	Oper.	Concepto
1	Desmonta la última pieza maquinada.	5	Analiza la pieza a maquinar.
2	Traslada la pieza a mesa de producto terminado	7	Busca las calzas de soporte para prensa del centro de maquinado.
3	Regresa al centro de maquinado.	12	Busca accesorios de tope para referenciar el (0,0) de la pieza.
4	Limpia el interior del centro de maquinado.	13	Arma el tope.
.	.	.	.
9	Va a la mesa de trabajo y toma la pieza a maquinar.	18	Traslada las herramientas y holders a la parte de atrás del centro de maquinado.
10	Regresa a centro de maquinado con la pieza a maquinar.	19	Montado de herramientas y boquillas a los holders.
11	Coloca y sujeta la pieza en prensa del centro de maquinado.	20	Lleva los holders con herramientas a la parte frontal del centro de maquinado.
15	Coloca el tope en la mesa del centro de maquinado.	22	Va a escritorio de diseño.

- Fase 3: Mejoramiento de operaciones de preparación
 En el desarrollo de la última fase de la técnica *SMED*, para llevar a cabo la estandarización del nuevo proceso de preparación de las máquinas CNC, se realizaron las siguientes tres actividades:
 - Analizar operaciones internas y externas con la finalidad detectar alguna operación que pueda ser mejorada para ejecutarla de manera fácil y rápida. Con el análisis se determinó que la operación 11 presentó potencial para mejorar su proceso de ejecución, la cual consta de sujetar los bloques de materia prima a una placa con barrenos y posteriormente sujetarla a la prensa de la máquina CNC. Para mejorar y agilizar el proceso de ejecución de esta operación, se propuso lo siguiente:
 - Colocación de un par de placas de sujeción extras para la sujeción de bloques de materia prima.
 - Trabajo en paralelo en la sujeción de los bloques de materia prima a la placa de sujeción.

- Trabajo en paralelo para sujetar la placa de sujeción en la prensa de la máquina CNC.
- Realizar propuesta para almacenamiento de herramientas, utillajes y accesorios requeridos para preparación de máquinas CNC, mediante la implementación de una caja de herramientas específica para éstos, con ubicación próxima a las máquinas CNC para agilizar el acceso a éstos.
- Capacitar al personal con el nuevo proceso de preparación mediante las siguientes actividades:
 - Elaborar diagrama de flujo del nuevo proceso de preparación. En la realización de este diagrama de flujo (Tabla 10) se contempló el orden de las operaciones de preparación determinado en la fase 2 de la técnica *SMED*.
 - Elaborar lista de verificación final de operaciones (Tabla 11) de preparación interna y externas considerando la secuencia de ejecución actualizada, así como las conversiones de operaciones internas a externas.
 - Elaborar lista de verificación final de herramientas y utillajes requeridos. Esta se muestra en la Tabla 12. Esta lista se desarrolló en la fase 1.

Tabla 10 Diagrama de flujo, **parcial**, del proceso propuesto de preparación de máquinas CNC.

Diagrama de flujo de proceso de preparación de máquinas CNC								
Actividad: Montado, desmontado, traslado y verificado.								
Resumen Presente			Datos					
Actividades	No.	Página: 1 de 1						
Operaciones	20	Enfoque: Propuesto.						
Transporte	6	Empresa: Confidencial 1.						
Inspección	10	Área: Maquinado CNC.						
Demoras	0	Tipo diagrama: Operación.						
Almacenamiento	1	Elaboró: C.A.S.K.M.						
Tiempo total=		Fecha: 01/08/22						
No.	Actividad	Oper.	Inspecc.	Transp.	Demor.	Almac.	Tiempo (minutos)	Observaciones
1	Analiza la pieza a maquinar.	●	●	●	●	●		Se realizan antes de hacer el cambio de pieza a maquinar
2	Busca las calzas de soporte para prensa del centro de maquinado.	●	●	●	●	●		
3	Busca accesorios de tope para referenciar el (0,0) de la pieza.	●	●	●	●	●		
35	Desmonta la pieza maquinada.	●	●	●	●	●		
36	Traslada la pieza terminada a mesa de piezas terminadas.	●	●	●	●	●		
37	Almacena la pieza terminada.	●	●	●	●	●		
Total		20	6	10	0	1		

Tabla 11 Lista de verificación, **parcial**, final de operaciones de preparación de máquinas CNC.

Lista de verificación de ejecución de operaciones de preparación de máquinas CNC					
Ejecutó:		Responsable de área:		Fecha:	
Secuencia a realizar	Operaciones externas	¿Operación ejecutada?		Operaciones internas	¿Operación ejecutada?
1	Analiza la pieza a maquinar.	Sí	No		
.	.	.	.		
12	Regresa al centro de maquinado.	Sí	No		
13				Desmonta la última pieza maquinada.	.
				.	.
				.	.
37				Almacena la pieza terminada.	Sí No

Tabla 12 Lista de verificación final de herramientas y utillajes requeridos para preparación de máquinas CNC.

Lista de verificación de herramientas y utillajes requeridos para preparación de máquinas CNC			
Ejecutó:		Fecha:	
Responsable de área:			
Nota: es importante que todo el equipo, herramientas, utillajes y accesorios se encuentren en óptimas condiciones para su uso seguro.			
Herramientales requeridos		¿Está disponible para ser usado?	
Descripción	Cantidad	Sí	No
Fresa esférica de 12 milímetros.	1	.	.
.	.	.	.
Fresa estándar de 3/4 pulgada.	1	.	.
Utillajes y accesorios requeridos		¿Está disponible para ser usado?	
Descripción	Cantidad	Sí	No
Boquillas para holders.	13	.	.
.	.	.	.
Vernier.	1	.	.

7. Medición de tiempo del nuevo proceso preparación de máquinas CNC de barrenado y fresado

Una vez terminada la implementación de las cuatro fases de la técnica *SMED*, se llevó a cabo la medición del tiempo de preparación del proceso nuevo de preparación de máquinas CNC, la cual se realizó mediante el mismo

procedimiento que la medición de tiempos del proceso actual. Los tiempos tomados, así como el tiempo promedio total de preparación, se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13 Toma de tiempos del proceso nuevo de preparación de máquinas.

Tipo	No.	Actividad	Ciclos (Tiempo en minutos)							Tiempo promedio (minutos)
			1	2	3	4	5	6	7	
E	1	Analiza la pieza a maquinarse.	3.32	4.55	4.33	3.28	4.20	4.68	3.12	3.93
E	2	Busca las calzas de soporte para prensa del centro de maquinado.	4.78	4.11	3.88	3.29	3.12	2.84	3.25	3.61
E	3	Busca accesorios de tope para referenciar el (0,0) de la pieza.	4.68	3.98	4.77	4.05	4.42	4.44	3.97	4.33
.
I	35	Desmonta la pieza maquinada.	0.41	0.61	0.51	0.66	0.46	0.69	0.61	0.56
I	36	Traslada la pieza terminada a mesa de piezas terminadas.	0.17	0.22	0.33	0.27	0.45	0.23	0.38	0.29
I	37	Almacena la pieza terminada.	0.12	0.22	0.14	0.26	0.22	0.39	0.37	0.25
Tiempo Total (min)			27.02	30.58	35.17	28.44	37.71	30.98	33.58	31.93

Posteriormente a la toma de tiempos del proceso nuevo de preparación de máquinas CNC, se determinó el tiempo promedio ahorrado en la preparación de las máquinas, el cual fue de **41.18 minutos** (Tabla 14). Por lo tanto, el tiempo total de preparación de las máquinas CNC fue de **31.93 minutos** (Tabla 15).

Tabla 14 Tiempo promedio ahorrado antes de apagar la máquina para preparación.

No.	Operaciones antes de parar la máquina para preparación	Tiempo promedio (minutos)
1	Analiza la pieza a maquinarse.	3.93
2	Busca las calzas de soporte para prensa del centro de maquinado.	3.61
3	Busca accesorios de tope para referenciar el (0,0) de la pieza.	4.33
4	Arma el tope.	1.94
5	Lleva el tope al centro de maquinado.	0.89
6	Busca las herramientas en estante de herramientas y equipo.	5.05
7	Traslada las herramientas y holders a la parte de atrás del centro de maquinado.	2.05
8	Montado de herramientas y boquillas a los holders.	15.11
9	Lleva los holders con herramientas a la parte frontal del centro de maquinado.	1.27
10	Va a escritorio de diseño.	0.47
11	Copia el programa de control numérico (CN) en memoria USB.	2.32
12	Regresa al centro de maquinado.	0.22
Tiempo promedio ahorrado		41.18

Tabla 15 Tiempo promedio total, parcial, de preparación de máquina CNC.

No.	Operaciones después de parar la máquina para preparación	Tiempo promedio (minutos)
13	Desmonta la última pieza maquinada.	0.49
14	Traslada la pieza a mesa de producto terminado	0.52
.	.	.
.	.	.
36	Traslada la pieza terminada a mesa de piezas terminadas.	0.29
37	Almacena la pieza terminada.	0.25
Tiempo promedio ahorrado		31.93

8. Validar resultados obtenidos con la realización de una prueba de hipótesis

Para validar los resultados obtenidos se realizó una prueba de hipótesis con comparación de medias, los siguientes pasos describen el procedimiento para realizarla:

- Concentrar tiempos de preparación del proceso actual y nuevo en la Tabla 16.
- Obtener tiempo total promedio de los procesos de preparación. Éstos se muestran en la Tabla 16.
- Calcular desviaciones estándar para cada uno de los procesos. Éstas se muestran en la Tabla 16.
- Calcular la desviación estándar combinada (S_p) con la Ec. 2.

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}} = \sqrt{\frac{(7-1)(5.29)^2 + (7-1)(3.78)^2}{7+7-2}} = 4.59 \dots \dots \dots (2)$$

Tabla 16 Concentrado de tiempos promedio de proceso de preparación actual y propuesto.

Tiempos de preparación, en minutos, del proceso actual y propuesto									
Proceso de preparación	Ciclo							Promedio \bar{x}	Desv. Est. S
	1	2	3	4	5	6	7		
Actual	72.70	74.50	83.46	74.40	69.02	70.97	67.12	73.17	5.29
Nuevo	27.02	30.58	35.17	28.44	37.71	30.98	33.58	31.93	3.78

- Plantear hipótesis nula y alternativa. $H_0 = \mu_1 = \mu_2$; *Hipotesis nula*

$$H_1 = \mu_1 > \mu_2; \text{Hipotesis alternativa}$$

- Establecer nivel de significancia en un nivel de confianza del 95% ($1 - \alpha = 0.95$).
- Obtener región crítica o región de rechazo para H_0 porque ésta representa el límite de aceptación o rechazo de la hipótesis nula, mediante la Ec. 3:

$$t_{\alpha, n_1 + n_2 - 2} = t_{0.05, (7 + 7 - 2)} = t_{0.05, (12)} \dots \dots \dots (3)$$

- Obtener el valor de t de la tabla de la distribución t de student, con un nivel de confianza del 95% y con 12 grados de libertad: $t_{0.05, (12)} = 1.782$
- Calcular el valor del estadístico de prueba mediante la sustitución de los valores en la Ec. 4:

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{73.17 - 31.93}{4.59 \sqrt{\frac{1}{7} + \frac{1}{7}}} = 16.80 \dots \dots \dots (4)$$

- Comparación de resultados de la siguiente manera:

$$t_0 > t_{\alpha, n_1 + n_2 - 2} \dots \dots \dots (5)$$

$$16.8 > 1.782$$

De acuerdo con la comparación ($16.8 > 1.782$) se determinó que t_0 se encuentra en la región de rechazo; por lo tanto, la hipótesis nula se rechaza, aceptando la hipótesis alternativa, la cual estipula que el tiempo promedio total de preparación del proceso actual es mas grande que el tiempo promedio de preparación del proceso nuevo; logrando una mejora en los tiempos de preparación de las máquinas CNC.

Conclusiones

La correcta aplicación de la técnica *SMED* y el trabajo en conjunto de otras técnicas y métodos, permitió lograr una reducción en el tiempo de preparación, pasando de 73.17 minutos a sólo **31.93 minutos**, logrando un ahorro de tiempo de **41.24 minutos**. En resumen, se logró optimizar el tiempo de preparación de las máquinas CNC de la empresa metalmeccánica, permitiendo tener mayor disponibilidad de tiempo para maquinar más piezas de pedidos por la clientela.

Referencias

- [1] N. Labarca. (2008) Competitividad en el sector metalmeccánico del estado de Zulia. *Formación Gerencial*. 51-69.
- [2] F. A. Rojas de Silva Glz and F. Ortiz Flores. (2015) Aplicación de SMED y CAD para mejorar el tiempo de cambio de moldes y utillajes en la máquina T9013-P1. *Revista de la Ingeniería Industrial*. 71-88.
- [3] F. Rojas, "Integración de SMED y CAD para mejorar el tiempo de cambio de moldes y utillajes en la maquina T9013-P1," Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba Orizaba, Ver., 2012.
- [4] S. Shingo and A. Robinson, *Modern approaches to manufacturing improvement: The Shingo System*, Primera ed. Portland, Oregon.: Productivity Press, 1990.
- [5] F. Ortiz Flores *et al.*, "Aplicación de SMED para reducir tiempos de preparación en una empresa metalmeccánica," *Seventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2009)*, pp. 1-9, June 2-5 2009.

- [6] A. Lobos Pérez, V. Sánchez Vázquez, and J. C. Raymundo Villarreal, "Mejora de la productividad a través de SMED en una empresa manufacturera de café," *Coloquio de Investigación Multidisciplinaria*, vol. 5, pp. 481-488, 2017.
- [7] K. Calderón Tobar and Y. Itoi Cortés, "Aplicación de la metodología SMED a línea de producción de envase de productos de cosméticos en Henkel Colombia S.A.S.," Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad Tecnológica Bogotá D.C., 2016.
- [8] D. Besterfield, "Control de calidad," Pearson, Ed., 2009.
- [9] R. S. Winter, "Manual de trabajo en equipo," E. D. d. Santos, Ed., 2000, pp. 19-22.
- [10] G. Baca Urbina, "Evaluación de proyectos," M. Hill, Ed., 2013.
- [11] A. Galgano, *Los siete instrumentos de la calidad total*. Madrid, España: Díaz de Santos, 1995.
- [12] G. Kanawaty, *Introducción al estudio del trabajo*, Cuarta edición ed. Limusa México, 2005.

Mejora continua para optimizar proceso computarizado de corte en área A220 en una empresa aeroespacial

F. Carreño Reyna¹, L. Santos Espinosa^{2*}, E. Santos Carrillo³, M.S. López Vigil⁴, J.C. Vasquez Jiménez⁵

^{1,2,3}Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan
Av. Rafael Ávila Camacho Oriente No 3509 Col. Barrio La Fátima
Ajaltan, Puebla, México, C.P. 75700.

^{4,5}División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán
Libramiento Tecnológico S/N, A.P 247, Sta María Coapan
Tehuacán, Puebla, México, C.P. 75770.

profa_lorenasantosespinosa@ajalpan.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

Se evaluó y optimizó el proceso de corte CNC del área A220 DADOS mediante toma de tiempos y aplicación de herramientas Lean Manufacturing en una empresa aeroespacial, se elaboró diagrama de espagueti para comprender transporte y movimientos de los operarios. Se implementó metodología 5's, basada en mantenimiento del orden y limpieza en el puesto de trabajo para estandarizar las condiciones óptimas del área de trabajo de los operadores de las máquinas, el enfoque del mantenimiento productivo total orientado a eliminar averías mediante la participación de los empleados y aplicación de técnicas water spider, kanban y supermercado para el surtido de materiales y preparación de moldes a fin de agregar valor al proceso. Los resultados muestran reducción de todo tipo de desperdicios, mejora de tiempos, optimización de distribución en planta, organización de puestos de trabajo, gestión de la calidad, flujo interno de producción, mantenimiento y gestión de la cadena de suministro.

Palabras clave: Lean Manufacturing, Mantenimiento Productivo Total, Optimizar, Water Spider.

Abstract

The CNC cutting process of the A220 DADOS area was evaluated and optimized by taking times and application of Lean Manufacturing tools in an aerospace Company; a spaghetti diagram was elaborated in order to understand operators transportation and movements. 5's methodology is implemented, bases on maintaining order and cleanliness in the workplace to standardize optimal conditions in the machine operators working area. The Total Productive Maintenance approach is aimed at eliminating breakdowns through the participation of employees and application of techniques, water spider, Kanban, and supermarket for the assortment of materials and preparation of molds in order to add value to the process. The results show reduction of all types of waste, time improvement, optimization of distribution in the factory, better job organization, quality management, internal production flow, maintenance, and supply chain management.

Key words: Lean Manufacturing, Total Productive Maintenance, Optimize, Water Spider.

Introducción

La industria aeroespacial es una de las más complejas e importantes en el mundo. La naturaleza de su contenido exige innovación tecnológica, así como capacitación permanente de recursos humanos; también requiere de una gran sensibilidad en los procesos productivos que involucran a una industria de la cual dependen vidas humanas [1].

El proceso de corte CNC es una técnica en la que el operador mueve un material (pieza de trabajo), tal como un metal, y una herramienta entre sí, para conformar la pieza de trabajo en la forma deseada mediante tallado, taladrado, etc. El corte se puede dividir ampliamente en dos métodos: rodante, donde la pieza está inmovilizada mientras que las herramientas giran, y torneante, donde la pieza de trabajo se gira [2].

En el entorno Lean la eliminación sistemática del desperdicio se realiza a través de tres pasos que tienen como objetivo la eliminación sistemática del despilfarro y todo aquello que resulte improductivo, inútil o que no aporte valor añadido y que recibe el nombre de Hoshin (Brújula):

- Reconocer el desperdicio y el valor añadido dentro de nuestros procesos.
- Actuar para eliminar el desperdicio aplicando la técnica Lean más adecuada.
- Estandarizar el trabajo con mayor carga de valor añadido para, posteriormente, volver a iniciar el ciclo de mejora.
- El reconocimiento de los desperdicios de cada empresa debe ser el primer paso para la selección de las técnicas más adecuadas. El firme convencimiento de la existencia de multitud de desperdicios en la empresa ayudará a la hora de diagnosticar el sistema y aplicar las medidas más eficientes [3].

Se debe evitar el despilfarro de fabricación por bajo desempeño. Este tipo de despilfarro es aquel que se debe a, simplemente, la realización de tareas en un tiempo superior al estándar sin otra causa que la falta de desempeño. La mano de obra directa solo puede causar despilfarro dentro del tiempo a control, es decir, dentro del tiempo durante el que les ha sido posible ser productivos, o sea, durante el tiempo de presencia y sin incidencias [4].

La empresa aeroespacial caso de estudio se dedica a la fabricación de interiores de avión teniendo como cliente principal a la aerolínea Airbus A220, entre otras. El problema principal en el área de corte CNC es la baja eficiencia por no apegarse al plan de producción y no cumplir en tiempo y forma con la meta diaria, esto se ve afectado por el tiempo que se tarda en procesar una pieza. Su proceso de producción impacta directamente en el rendimiento de todos los proyectos en general, A220 y Boeing. El presente trabajo se llevó a cabo en el área A220 Datos y abarca el proceso de corte, surtido de materiales y logística de moldes en la máquina #236, el cual consta de un mecanismo de fresado equipado con motores en cada uno de sus ejes que son controlados por una computadora mediante un CNC (Control Numérico Computarizado) como lo muestra la figura 1. La empresa se especializa en la manufactura y diseño de interiores de aviones, como son: porta equipajes, techos, baños, paredes, puertas, entre otros, figura 1.



Figura 1. Máquina #236 y Productos Manufacturados

Asegurar la satisfacción del cliente, la mejora continua y la competitividad, representan los ejes fundamentales de la empresa para mantenerse como empresa líder en su rubro. La empresa está avalada con la certificación AS9100. Actualmente se tiene un incremento superior al 120% en la demanda de los aviones A220 lo cual se convierte en un gran reto, pues, no solo tiene menos espacio para su manufactura sino una mayor producción. Al realizar un análisis superficial de capacidad en el área de corte, se estipula que no se puede cumplir con la demanda teniendo la infraestructura actual. Es aquí, donde nace la necesidad de incrementar la eficiencia del proceso de corte a través de la implementación de herramientas lean.

Metodología del proceso de corte CNC (Control Numérico Computarizado).

Al iniciar el proceso, todo el producto que entra al área está basado en un plan de producción, cada panel o producto cuenta con una MO (manufacturing order), esta MO es la hoja viajera en la cual contiene todos los pasos del proceso (SP – static plan) así como principalmente un número de parte, este número de parte es para que el operador pueda identificar el programa y la herramienta de corte, todos los programas tienen un número de parte principal, así como todos los números de parte los cuales se pueden cortar con el mismo. Una vez que el operador identifica las cargas (panel) y el molde a utilizar se procede a realizar las siguientes actividades:

1. **Set up del molde:** limpiar mesa de la máquina y ajustar de acuerdo con los orificios de posición del molde, seleccionar programa de corte, ajustar los ejes “X”, “Y” y guardar coordenadas, ajustar el eje “Z” tocando la superficie plana del molde, simular el programa de corte (correr al aire), con esto el operador se da cuenta si hay algún error en la programación. Como lo muestra la figura 2.
2. **Corte del panel:** Montar la pieza en el molde y hacer el ajuste con el método de sujeción correspondiente (sistema de vacío, tafe o clavos), esto con la intención de iniciar el programa de corte, limpieza del panel y molde, consiste en retirar todo el sobrante de material y aspirar la fibra de vidrio. Ver Figura 2.



Figura 2. Set up y corte del molde

Resultados y discusión

Mejora de tiempos, optimización de distribución en planta, organización de puestos de trabajo y aplicación de la calidad total son, en definitiva, acciones implementadas en la empresa, para el incremento de la productividad, la reducción de plazos de entrega, el aumento de la calidad y la reducción de costos.

Fase 1: Diagnóstico y Formación.

Conocer el estado actual del proceso de corte CNC del área A220 DADOS con el propósito de entender y documentar lo que ocurre de manera frecuente en el transporte y movimiento de los operadores dentro y fuera de su puesto de trabajo al operar la máquina o al ir en búsqueda de los paneles y moldes, así mismo realizando una toma de tiempos de las operaciones (búsqueda de moldes, set up y corte). En el análisis de la situación actual se identificó que los problemas en su mayoría, son ocasionados por los desperdicios de transporte, movimiento y espera que afectan en el tiempo de ejecución de las actividades del proceso. En la figura 3, se visualiza el recorrido que se realiza para ir en busca de los moldes a utilizar, teniendo un tiempo de 28:11 min. y una distancia recorrida de 370.02 m., siendo esta una de las operaciones que genera una gran muda de espera, ya que es el mismo operador quien va por el molde, mientras la máquina permanece en espera del siguiente. En la figura 4 se observa a detalle el proceso de la búsqueda del TRF y cada una de las actividades y tiempos.

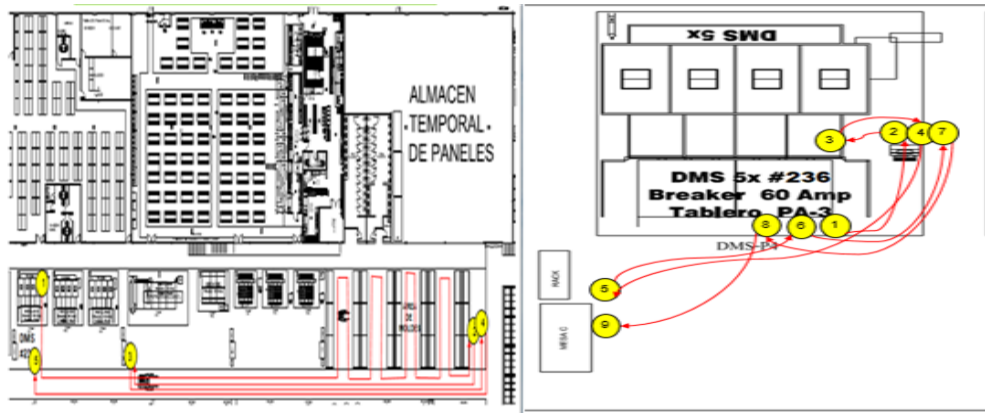


Figura 3. Set up del Diagrama de espagueti del recorrido de los moldes entre su punto de uso y su almacenaje y del operador de la máquina #236.










DIAGRAMA DE ANÁLISIS DE PROCESO				
PROCESO: Corte de CNC			RESUMEN	
			OPERACIÓN	OBSERVACIONES
DMS: #236			ACTUAL	1
PROYECTO: BOEING			TRANSPORTE	3
PRODUCTO: CLG_MAIN_PNL_CONST-SECT-48-SPK			DEMORA	
ALIAS: C519311-45			INSPECCIÓN	
MOLDE: NCMIT C519301-1			ALMACENAMIENTO	
MÉTODO: Actual			DISTANCIA (m)	370.0272
			TIEMPO (hr:min:s)	00:28:11
SIMBOLO				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DISTANCIA (M)	TIEMPO (hr:min:s)	    
Busqueda del TRF				
Buscar en el programa el número de molde correspondiente al Alias de la MO	1	174.6504	00:02:20	
Buscar el número de molde en los racks	1	50.5968	00:13:58	
Ir por el montacargas	1	50.5968	00:03:35	
Ir por el molde y colocar molde en la zona indicada	1	94.1832	00:08:18	
TOTAL		370.0272	00:28:11	    

Figura 4. Diagrama de análisis de proceso del recorrido de los moldes de la búsqueda del TRF

Diagrama de Análisis del Proceso Actual (DAP)

La unidad de medida del diagrama en cuanto a actividades es solo de una pieza, es decir, los tiempos y distancias son calculados en función a un producto y no a un día de producción. Los DAP deben ser elaborados en base a tareas, por lo que a continuación se presentan los DAP's de todas las actividades del proceso de corte. Ver figura 5.

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DE PROCESO				RESUMEN		
PROCESO: Corte de CNC				OPERACIÓN	ACTUAL	OBSERVACIONES
DMS: #236				OPERACIÓN	8	
PROYECTO: BOEING				TRANSPORTE	5	
PRODUCTO: CLG_MAIN_PNL_CONST-SECT-48-SPK				DEMORA		
ALIAS: C519311-45				INSPECCIÓN		
MOLDE: NCMIT C519301-1				ALMACENAMIENTO		
MÉTODO: Actual				DISTANCIA (m)	421.2336	
				TIEMPO (hr:min:s)	01:23:42	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DISTANCIA (M)	TIEMPO (hr:min:s)	SIMBOLO		
Busqueda del TRF				●	→	○
Buscar en el programa el número de molde correspondiente al Alias de la MO	1	174.6504	00:02:20	●	→	○
Buscar el número de molde en los racks	1	50.5968	00:13:58	●	→	○
Ir por el montacargas	1	50.5968	00:03:35	●	→	○
Ir por el molde y colocar molde en la zona indicada	1	94.1832	00:08:18	●	→	○
SET-UP DE MOLDE				●	→	○
Ajuste del molde de acuerdo a orificios de posición	1		00:05:21	●	→	○
Selección del programa de corte y ajuste de ejes (X,Y)	1	8.7884	00:12:28	●	→	○
Ajuste en eje Z	1	3.3274	00:14:44	●	→	○
Simular el programa de corte (correr al aire)	1	3.3274	00:03:18	●	→	○
Ir por panel al Kanban (entrada)	1	9.9822	00:00:32	●	→	○
CORTE DEL PANEL				●	→	○
Colocar el panel en el molde (sujección: vacío)	1	3.9116	00:00:59	●	→	○
Iniciar programa de corte	1	8.5852	00:13:16	●	→	○
Retirar pieza (aspira la pieza, quitar el material sobrante y limpiar el molde)	1	8.5852	00:04:03	●	→	○
Llevar pieza al Kanban (salida)	1	4.699	00:00:50	●	→	○
TOTAL		421.2336	01:23:42			

Figura 5. Diagrama de análisis de proceso

Tiempo de entrega de moldes, tiempos de set up y tiempos de cortes.

A continuación, en la tabla 1, se muestran los tiempos de búsqueda de moldes, Set-up por molde y de ciclo de corte de las partes y las oportunidades de mejora.

Tabla 1. – Matriz de tiempos de las operaciones.

# De detalle en MO	Tiempo de búsqueda de TRF	Tiempo de Set-up	# De muestra de tiempos de corte										Limpieza de panel	Tiempo promedio por corte	Tiempo total
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
C345111-7	0:28:30	0:38:11	0:16:29	0:15:34	0:15:18	0:16:58	0:15:45	0:16:06	0:17:01	0:15:58	0:16:13	0:17:10	0:02:02	0:18:17	1:24:58
C349011-23	0:19:22		0:07:30	0:06:10	0:06:11	0:06:09	0:06:55	0:06:31	0:07:10	0:06:37	0:06:15	0:06:19	0:03:56	0:10:31	0:55:30
C349011-18	0:17:36		0:07:31	0:07:29	0:07:44	0:07:32	0:07:17	0:07:48	0:08:00	0:07:50	0:07:22	0:08:07	0:03:04	0:10:44	0:53:57
C349011-27	0:25:19	0:25:37	0:05:05	0:05:17	0:05:44	0:05:13	0:05:13	0:06:03	0:05:45	0:05:17	0:05:16	0:05:26	0:03:30	0:08:56	0:59:52
C349011-28	0:15:10		0:05:10	0:05:26	0:05:24	0:05:11	0:06:10	0:05:46	0:06:04	0:05:31	0:05:26	0:06:14	0:04:05	0:09:43	0:50:30
C345111-5	0:23:03	0:18:48	0:08:53	0:08:26	0:09:00	0:08:25	0:08:58	0:08:26	0:09:10	0:08:29	0:08:47	0:08:42	0:02:30	0:11:14	0:53:05
C345111-8	0:17:01	0:28:33	0:09:40	0:11:05	0:18:18	0:17:52	0:15:26	0:13:13	0:12:18	0:14:13	0:14:03	0:12:48	0:03:10	0:17:04	1:02:38
C345111-4	0:13:41	0:16:47	0:11:33	0:11:21	0:11:29	0:12:06	0:13:06	0:11:41	0:11:22	0:13:00	0:11:36	0:12:30	0:02:18	0:14:16	0:44:44
G901031-5	0:16:52	0:35:45	0:17:02	0:17:05	0:16:56	0:16:26	0:23:29	0:17:28	0:22:32	0:16:57	0:17:16	0:17:32	0:02:27	0:20:43	1:13:20
C517310-45	0:16:04	0:31:15	0:11:10	0:11:11	0:12:10	0:11:42	0:12:46	0:11:33	0:11:52	0:13:29	0:13:00	0:11:23	0:03:03	0:15:05	1:02:24
C513305-3	0:29:52		0:18:40	0:17:23	0:18:29	0:19:11	0:18:55	0:19:20	0:18:27	0:17:50	0:17:53	0:19:05	0:02:30	0:21:01	1:33:13
C513313-11	0:23:13	0:42:20	0:13:28	0:13:18	0:14:18	0:13:42	0:14:09	0:13:33	0:14:20	0:14:16	0:13:29	0:14:25	0:02:38	0:16:32	1:22:05
C513308-15	0:14:01	1:09:26	0:12:53	0:11:39	0:12:36	0:13:00	0:11:48	0:11:26	0:11:10	0:13:09	0:11:40	0:12:30	0:02:10	0:14:21	1:37:48
B83203-5	0:14:21	1:13:36	0:27:59	0:19:04	0:19:49	0:19:27	0:20:18	0:20:04	0:19:59	0:19:04	0:19:31	0:19:15	0:02:54	0:23:21	1:51:18
H589852-9	0:17:15		0:11:13	0:10:36	0:08:30	0:08:38	0:09:56	0:11:13	0:08:56	0:09:33	0:08:38	0:08:56	0:03:17	0:12:54	0:58:42
H589852-1	0:18:31	0:28:33	0:12:18	0:10:39	0:10:11	0:10:21	0:10:53	0:11:28	0:11:00	0:10:56	0:10:31	0:12:10	0:02:31	0:13:34	1:00:38
C519311-61	0:18:12	0:37:04	0:21:15	0:18:13	0:16:54	0:14:02	0:16:29	0:16:19	0:19:57	0:20:07	0:16:04	0:17:10	0:03:00	0:20:39	1:15:55
C345111-6	0:13:59	0:28:34	0:12:20	0:11:47	0:12:46	0:11:33	0:11:52	0:12:47	0:12:29	0:11:48	0:13:00	0:11:47	0:02:47	0:15:00	0:57:33
G901063-1	0:16:08	0:20:36	0:13:50	0:14:13	0:14:25	0:12:00	0:13:11	0:13:29	0:13:00	0:11:23	0:15:13	0:13:52	0:02:38	0:16:06	0:52:50
C342011-19	0:20:31	0:37:19	0:18:16	0:18:53	0:16:25	0:16:50	0:15:05	0:15:34	0:17:44	0:14:34	0:17:44	0:15:21	0:03:03	0:19:42	1:17:32
C519311-45	0:28:11	0:36:23	0:16:00	0:16:30	0:15:24	0:14:20	0:14:56	0:15:09	0:14:41	0:15:54	0:15:15	0:16:07	0:03:42	0:19:08	1:23:42
B148702-42	0:15:44	0:36:10	0:11:54	0:13:09	0:13:16	0:12:03	0:14:00	0:10:24	0:10:00	0:09:50	0:10:10	0:11:36	0:02:36	0:14:14	1:06:08
C517311-43	0:22:30	0:22:32	0:18:20	0:19:00	0:18:32	0:18:55	0:18:29	0:19:11	0:18:45	0:19:20	0:18:27	0:19:06	0:03:00	0:21:48	1:06:51
C517311-31	0:25:12	0:30:16	0:14:41	0:14:25	0:15:22	0:14:56	0:15:38	0:15:00	0:14:43	0:15:41	0:14:38	0:15:18	0:03:17	0:18:19	1:13:47
C519311-45	0:19:36	0:21:32	0:14:00	0:14:35	0:13:16	0:14:33	0:14:34	0:14:09	0:13:15	0:13:36	0:14:41	0:13:20	0:02:39	0:16:39	0:57:47
C344011-10	0:25:19	0:25:54	0:07:00	0:06:47	0:07:10	0:06:40	0:07:38	0:08:00	0:06:52	0:07:18	0:06:30	0:07:58	0:02:55	0:10:06	1:01:19
C519311-61	0:22:10	0:33:08	0:11:22	0:12:00	0:14:00	0:11:58	0:12:30	0:13:57	0:12:53	0:11:40	0:12:30	0:13:26	0:03:53	0:16:31	1:11:49
C344111-7	0:20:11	0:22:04	0:07:49	0:04:36	0:04:40	0:04:27	0:04:34	0:05:00	0:05:30	0:04:56	0:04:26	0:05:10	0:04:00	0:09:07	0:51:22

Área de oportunidad

Formación y capacitación del equipo 5's y mejora continua. Figura 6.



Figura 6. Equipo 5's y Mejora Continua

Fase 2: Diseño del plan de mejora.

Dependiendo de la situación de la empresa, sus características y su grado de eficacia desde una perspectiva Lean, es necesario planificar un proyecto de implantación coherente con su realidad, y con unos objetivos bien definidos a corto, medio y largo plazo. Tabla 2.

Tabla 2. Oportunidad de mejoras.

Área de Oportunidad	Acción	Impacto
Búsqueda de moldes TRF	Agregar al headcount un water spider para surtido de moldes por máquina. Colocar un rack en la estación de trabajo para la colocación de moldes a utilizar.	Eliminación del tiempo de búsqueda. Tener con anticipación próximo molde.
Retirar pieza (aspira la pieza, quitar el material sobrante, limpiar el molde).	Trabajar con 2 moldes y la limpieza puede hacerse mientras la máquina se encuentre trabajando.	Reducción de tiempo del ciclo de corte.

Fase 3: Lanzamiento.

En esta fase, comienzan los cambios radicales en los medios materiales y en su gestión operativa. Se comienza siempre con las técnicas esenciales del Lean como son las 5's. Se toma la decisión de implementar la metodología 5'S en área de trabajo (máquina #236) para organizar el lugar de trabajo, conservarlo limpio, con condiciones de trabajo estandarizadas y que las personas tengan una actitud disciplinada. Es seguro que habrá cambios en términos de prácticas de trabajo estandarizado menos tiempos muertos y más trabajadores orgullosos en la empresa aeroespacial.

1. **Clasificar/seleccionar.** Contar con un área de trabajo donde únicamente estén los artículos y herramientas necesarios. Como herramienta principal se utilizaron las tarjetas rojas. En la figura 7, se visualiza el antes y después de implementar la 1's.



Fig. 7. Antes y después de implementar 1's.

- Ordenar.** Que exista un lugar para cada artículo, adecuado a las rutinas de trabajo, listos para utilizarse y con su debida señalización. Herramientas utilizadas, código de colores y señalización. Figura 8.



Fig. 8. Antes y después de implantación de 2's.

- Limpiar.** Establecer una metodología de limpieza que evite que el área de trabajo se ensucie. En la figura 9, se visualizan los resultados de la implantación de la 3's. Aspecto limpio de la planta: máquinas, instalaciones, técnicas y herramientas.



Figura 9. Resultados de implantación de 3's.

- Estandarizar o Bienestar Personal.** Desarrollar condiciones de trabajo que eviten retroceso en las primeras 3's. Todo siempre igual. Herramientas utilizadas: tableros de estándares, plantillas e instrucciones y procedimientos. Orden en pasillos, instrucciones sencillas de operación, cero averías, mayor interés de los empleados por su área de trabajo, movimientos y recorridos óptimos de personas, materiales y utillajes. Se aplicó el método general de 5's a todos los puestos de trabajo de CNC, como se muestran los resultados de la figura 10.

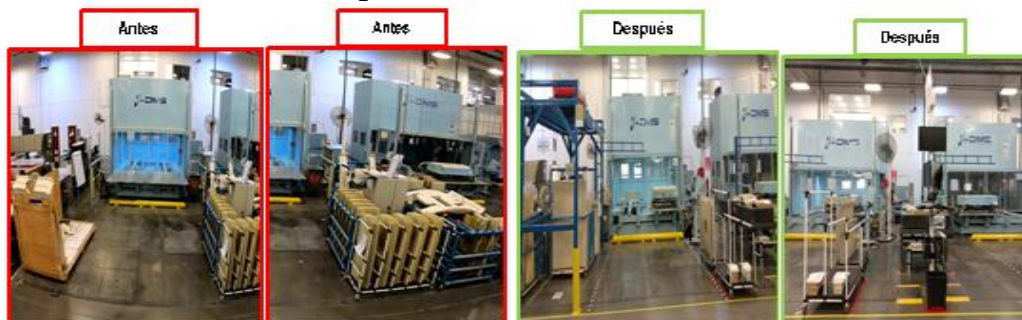


Figura 10. Resultados de implantación de 4's.

- Disciplina.** Alcanzar una calidad de museo en todas las áreas de Safran, desde trabajadores hasta la organización. Se visualizan los efectos reflejados en los más altos niveles de productividad y mejor calidad, pues ahora la gente hace con más cuidado sus actividades (Figura 11).



Figura 11. Resultados de la implementación de las 5's

Fase 4: Estabilización de mejoras.

Los objetivos de esta etapa son:

- Reducir desperdicios en actividades relacionadas con mantenimiento y calidad.
- Estabilizar el proceso de producción para incrementar el nivel de confianza con respecto a tiempos de preparación, efectividad global del equipo y niveles de calidad.
- Reducir los lotes de producción al mínimo posible, determinado por el punto de equilibrio de producción.

Para ello se pueden desplegar acciones Mantenimiento Productivo Total, Mantenimiento Autónomo y todas aquellas técnicas de calidad disponibles. Según se vayan logrando las mejoras y haciendo más confiable y estable el proceso, se conseguirán menores tamaños de lote, mayor flexibilidad y un aumento de la calidad.

Fase 5: Estandarización.

La implantación de las técnicas anteriores permite afrontar el despliegue de aquellas acciones Lean más específicas relacionadas con la optimización de los métodos de trabajo y el control de la gestión. Los objetivos de esta etapa son:

- Optimizar métodos de trabajo.
- Diseñar métodos de trabajo capaces de adaptarse a las variaciones de la demanda.
- Adaptar el ritmo de producción a la demanda del cliente.
- Adaptar la mano de obra y capacidad a la demanda requerida.

Con la integración del water spider al headcount de CNC se eliminaron los tiempos de búsqueda de moldes, siendo esta una de las operaciones que generaba un gran tiempo de espera al iniciar el corte, de igual manera se eliminó el tiempo de limpieza del panel ya que ahora se realiza esa operación mientras la máquina corta la siguiente pieza, el resultado se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3. Matriz de tiempos de las operaciones (Después de la mejora)

# De detalle en MO	Tiempo de Set-up	# De muestra de tiempos de corte										Tiempo promedio por corte	Tiempo total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
C345111-7	0:38:11	0:16:29	0:15:34	0:15:18	0:16:58	0:15:45	0:16:06	0:17:01	0:15:58	0:16:13	0:17:10	0:16:15	0:54:26
C349011-23	0:25:37	0:07:30	0:06:10	0:06:11	0:06:09	0:06:55	0:06:31	0:07:10	0:06:37	0:06:15	0:06:19	0:06:35	0:32:12
C349011-18		0:07:31	0:07:29	0:07:44	0:07:32	0:07:17	0:07:48	0:08:00	0:07:50	0:07:22	0:08:07	0:07:40	0:33:17
C349011-27		0:05:05	0:05:17	0:05:44	0:05:13	0:05:13	0:06:03	0:05:45	0:05:17	0:05:16	0:05:26	0:05:26	0:31:03
C349011-28		0:05:10	0:05:26	0:05:24	0:05:11	0:06:10	0:05:46	0:06:04	0:05:31	0:05:26	0:06:14	0:05:38	0:31:15
C345111-5	0:18:48	0:08:53	0:08:26	0:09:00	0:08:25	0:08:58	0:08:26	0:09:10	0:08:29	0:08:47	0:08:42	0:08:44	0:27:32
C345111-8	0:28:33	0:09:40	0:11:05	0:18:18	0:17:52	0:15:26	0:13:13	0:12:18	0:14:13	0:14:03	0:12:48	0:13:54	0:42:27
C345111-4	0:16:47	0:11:33	0:11:21	0:11:29	0:12:06	0:13:06	0:11:41	0:11:22	0:13:00	0:11:36	0:12:30	0:11:58	0:28:45
G901031-5	0:35:45	0:17:02	0:17:05	0:16:56	0:16:26	0:23:29	0:17:28	0:22:32	0:16:57	0:17:16	0:17:32	0:18:16	0:54:01
C517310-45	0:31:15	0:11:10	0:11:11	0:12:10	0:11:42	0:12:46	0:11:33	0:11:52	0:13:29	0:13:00	0:11:23	0:12:02	0:43:17
C513305-3	0:42:20	0:18:40	0:17:23	0:18:29	0:19:11	0:18:55	0:19:20	0:18:27	0:17:50	0:17:53	0:19:05	0:18:31	1:00:51
C513313-11		0:13:28	0:13:18	0:14:18	0:13:42	0:14:09	0:13:33	0:14:20	0:14:16	0:13:29	0:14:25	0:13:54	0:56:14
C513308-15	1:09:26	0:12:53	0:11:39	0:12:36	0:13:00	0:11:48	0:11:26	0:11:10	0:13:09	0:11:40	0:12:30	0:12:11	1:21:37
B833203-5	1:13:36	0:27:59	0:19:04	0:19:49	0:19:27	0:20:18	0:20:04	0:19:59	0:19:04	0:19:31	0:19:15	0:20:27	1:34:03
H589852-9		0:11:13	0:10:36	0:08:30	0:08:38	0:09:56	0:11:13	0:08:56	0:09:33	0:08:38	0:08:56	0:09:37	0:38:10
H589852-1	0:28:33	0:12:18	0:10:39	0:10:11	0:10:21	0:10:53	0:11:28	0:11:00	0:10:56	0:10:31	0:12:10	0:11:03	0:39:36
C519311-61	0:37:04	0:21:15	0:18:13	0:16:54	0:14:02	0:16:29	0:16:19	0:19:57	0:20:07	0:16:04	0:17:10	0:17:39	0:54:43
C345111-6	0:28:34	0:12:20	0:11:47	0:12:46	0:11:33	0:11:52	0:12:47	0:12:29	0:11:48	0:13:00	0:11:47	0:12:13	0:40:47
G901063-1	0:20:36	0:13:50	0:14:13	0:14:25	0:12:00	0:13:11	0:13:29	0:13:00	0:11:23	0:15:13	0:13:52	0:13:28	0:34:04
C342011-19	0:37:19	0:18:16	0:18:53	0:16:25	0:16:50	0:15:05	0:15:34	0:17:44	0:14:34	0:17:44	0:15:21	0:16:39	0:53:58
C519311-45	0:36:23	0:16:00	0:16:30	0:15:25	0:14:20	0:14:56	0:15:09	0:14:40	0:15:54	0:15:15	0:16:06	0:15:26	0:51:48
B148702-42	0:36:10	0:11:54	0:13:09	0:13:16	0:12:03	0:14:00	0:10:24	0:10:00	0:09:50	0:10:10	0:11:36	0:11:38	0:47:48
C517311-43	0:22:32	0:18:20	0:19:00	0:18:32	0:18:55	0:18:29	0:19:11	0:18:45	0:19:20	0:18:27	0:19:06	0:18:48	0:41:21
C517311-31	0:30:16	0:14:41	0:14:25	0:15:22	0:14:56	0:15:38	0:15:00	0:14:43	0:15:41	0:14:38	0:15:18	0:15:02	0:45:18
C519311-45	0:21:32	0:14:00	0:14:35	0:13:16	0:14:33	0:14:34	0:14:09	0:13:15	0:13:36	0:14:41	0:13:20	0:14:00	0:35:32
C344011-10	0:25:54	0:07:00	0:06:47	0:07:10	0:06:40	0:07:38	0:08:00	0:06:52	0:07:18	0:06:30	0:07:58	0:07:11	0:33:05
C519311-61	0:33:08	0:11:22	0:12:00	0:14:00	0:11:58	0:12:30	0:13:57	0:12:53	0:11:40	0:12:30	0:13:26	0:12:38	0:45:46
C344111-7	0:22:04	0:07:49	0:04:36	0:04:40	0:04:27	0:04:34	0:05:00	0:05:30	0:04:56	0:04:26	0:05:10	0:05:07	0:27:11

Trabajo a futuro

Diseñar un sistema para mantener mejoras logradas y verificar su efectividad mediante una estrategia Seis Sigma, en la Industria de Fabricación de Piezas y Productos Aeroespaciales.

Conclusiones

A través de herramientas de ingeniería como Diagrama de análisis del proceso (DAP) detallado y diagrama de recorrido, se realizó la evaluación del proceso actual y en base a ello se identificó que: se recorrían 370.02 metros en la búsqueda de un molde y 51.2 metros para realizar la preparación y corte de los paneles en su puesto de trabajo. Al observar y analizar sus movimientos se logró reducir la distancia colocando los racks de entrada y salida más cerca de él, y colocando el controlador al frente de la máquina y solo en la realización del set up moverlo a un costado. Para la optimización del flujo de materiales, se colocaron racks cerca de la estación de trabajo donde se ubica el material de entrada (paneles y moldes) y así facilitar el abastecimiento al puesto de trabajo, así como para la salida de material. Herramientas como el supermercado y el water spider contribuyeron a mejorar la utilización de los recursos, reduciendo principalmente esperas y movimiento del operador de la máquina, logrando como resultado en la actividad, la preparación anticipada de paneles y moldes, gracias a que un operario lleva los materiales al puesto de trabajo y los coloca en las áreas destinadas en el rack. La mejora basada en las 5'S permitió conseguir una mayor productividad que se convierte en una disminución de las averías por falta de limpieza en el área, en ahorro de tiempo en búsqueda de materiales y herramientas, en ahorro de tiempo en limpieza de maquinarias, en una mejora del espacio en el área de trabajo y en un mayor control visual del proceso. Las ventajas de implantar esta metodología en la estación de trabajo son múltiples, por un lado, la simplicidad de esta permitió al personal a participar activamente en la mejora continua de los puestos de trabajo.

Además, la creación de la SOP como ayuda visual para el mantenimiento autónomo permitirá al operador incrementar su identificación con el puesto de trabajo sobre la detección de problemas, antes de que se dañe el equipo. Con los cambios realizados se eliminó un 100% el recorrido de búsqueda de moldes y hubo una disminución de 29.7 % del recorrido de preparación ya que el operador ahora solo recorre una distancia de 35.9 metros en su estación de trabajo.

Se mantiene un flujo uniforme y redujeron los tiempos de entrega y la variabilidad, reportando la compañía un 80% de ahorro de tiempo, al implementar un Water Spider en el área de producción. Esto, a su vez, ayuda a mejorar la comunicación entre el equipo y la gerencia. Se implanta un flujo constante de producción y una mejor estandarización de la entrega de existencias a la línea de ensamble incrementando la eficiencia de producción en un 95%, y por lo tanto una disminución de costos de 85%. Herramientas como el supermercado y el water spider contribuyeron a mejorar la utilización de los recursos, reduciendo principalmente esperas y movimiento del operador de la máquina, logrando como resultado en la actividad, la preparación anticipada de paneles y moldes, gracias a que un operario lleva los materiales al puesto de trabajo y los coloca en las áreas destinadas en el rack.

Agradecimientos

A la empresa aeroespacial en colaboración con el Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan por las facilidades otorgadas para la realización de este proyecto.

Referencias

- [1] M.A., Vazquez y C., Bocanegra, "La industria aeroespacial en México: características y retos en Sonora". *Prob. Des* [online], vol.49, n.195, pp.153-176, dic., 2018. Accedido: 10 de junio 2022. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362018000400153&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0301-7036. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2018.195.63183>.
- [2] Keyence, "Introducción al maquinado". Tipos de corte. 2022. Disponible en: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/measure-sys/machining/cutting/type.jsp>
- [3] D. González Sombrero, "Aplicación de técnicas lean manufacturing en una empresa aeronáutica", Cartageña. España, 2019.
- [4] J.A. Cruelles Ruiz, Despilfarro cero. La mejora continua a partir de la medición y la reducción del despilfarro. Primera edición. Barcelona, España. Marcomb, ediciones técnicas, 2012.

Simulación en SIMIO para analizar un sistema de producción de vidrio automotriz

L. A. Bello Castellanos^{1*}, C. G. Moras Sánchez², M. A. Rojas Luna³, A. A. Aguilar Lasserre², M. J. Cruz García¹

¹ Alumno de la Maestría en Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/I.T. Orizaba, Oriente 9 No. 852, Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320 Orizaba, Ver., México

² División de Estudios de Posgrado e Investigación, Maestría en Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/I.T. Orizaba, Oriente 9 No. 852, Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320 Orizaba, Ver., México

³Asesor externo

*angelbello124@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

Se realizó un estudio de simulación a una empresa productora de vidrio automotriz, para analizar y comprender el desempeño de una de sus áreas. Se tomaron como datos los tiempos de cada uno de los procesos, esta colección de datos fue recabada y procesada de manera estadística mediante pruebas de bondad de ajuste para obtener la distribución de cada proceso, encontrándose ajustes a distribuciones teóricas conocidas y otros siguieron una distribución empírica. Para construir el modelo de simulación fue utilizado el software SIMIO que permite modificar la lógica del sistema y realizar una animación 3D. Se obtuvo un modelo de simulación representativo del sistema real, en base al cual se modificó la capacidad de un proceso. Finalmente se comparó el modelo original contra el modificado, obteniendo como resultado un aumento del 38.27 % de vidrios empaquetados y una disminución del 13.31% del tiempo promedio en el sistema del vidrio.

Palabras clave: Simulación, eventos discretos, software SIMIO.

Abstract

A simulation study was carried out on an automotive glass producing company in order to analyze and get a better understanding of one area's performance. Data were collected considering the time of each process, this data collection were taken and statistical treated using goodness of fit test to define the distribution for each process, finding that some were adjusted to well-known theoretical distributions and others following an empirical distribution. For the construction of the simulation modeling was used the software SIMIO that allows change the system logic and makes 3D animation. A representative model of the real system was obtained, using that model one process capacity was changed. Finally, original model and changed model were compared, obtaining as a result 38.27% increase of packed glass and 13.31% decrease in the glass average time in system.

Key words: Simulation, discrete events, SIMIO software.

Introducción

La industria automotriz mexicana genera notables aportaciones al producto interno bruto (PIB) y crea empleos directos e indirectos al promover la entrada de inversión extranjera directa (IED). En México la industria manufacturera constituye una de las actividades productivas más dinámicas. Sus aportes a la economía son: 17% del PIB, 5 472 497 puestos de trabajo de acuerdo con las estadísticas proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en 2014 y 55.7% del total IED en 2012. Dentro de las manufacturas, el desempeño de la industria automotriz en el mismo año aportó 14.7% del PIB manufacturero razón por la cual esta industria, tanto de ensamblaje como de producción de autopartes, se ha posicionado como un sector clave para la economía. La ubicación geográfica de México es motivo de una amplia dinámica comercial por la cercanía con su principal socio comercial y primer mercado de consumo de automóviles y autopartes: los Estados Unidos [1].

La industria del vidrio es una actividad económica de suma importancia porque provee una amplia gama de productos que satisfacen necesidades para la industria y para la vida cotidiana. La del vidrio es proveedora de la industria de la construcción, de la automotriz y de contenedores para el envasado de bebidas, alimentos y productos químicos, aunque compite ampliamente con otros *commodities* como el plástico y el aluminio, entre otros [2].

El vidrio ha sido usado por el hombre desde hace milenios, posiblemente sea el material más viejo fabricado por el ser humano y que aún continúa afectando la vida presente. El producto que llamamos vidrio es una sustancia dura, normalmente brillante y transparente, compuesta principalmente de silicatos y álcalis fusionados a alta temperatura. Se lo considera un sólido amorfo, porque no es ni sólido ni líquido, sino que existe en un estado vítreo. Los componentes principales del vidrio son: sílice, cal y carbonato de sodio. Existen materiales secundarios que son usados para conferirle propiedades especiales o para facilitar el proceso de fabricación [3].

El vidrio templado es cinco veces más resistente que el vidrio tradicional que cumple con su fragmentación. El vidrio templado es aquel que ha sido tratado con calor y el aumento de su resistencia mecánica y térmica. Este tratamiento tiene el efecto de generar en el interior del vidrio, un sistema de restricción que mejora significativamente la resistencia del producto acabado. El vidrio templado es un vidrio de seguridad, de hecho, si se rompe este quedará en pequeños pedazos que reducen el riesgo de accidentes por corte [4].

El templado térmico consiste en calentar uniformemente el objeto de vidrio que se desea reforzar hasta una temperatura ligeramente superior a la de su temperatura de transición T_g y, una vez estabilizada ésta, enfriarlo bruscamente de manera controlada hasta la temperatura ambiente [5].

Se usa la simulación para estudiar y mejorar “sistemas” de personas, equipos, materiales y procesos. También se usa la simulación para imitar el comportamiento de sistemas como industrias, almacenes, hospitales, bancos o parques temáticos. De esta manera es posible investigar distintos cambios antes de hacer recomendaciones, en este sentido la simulación es una herramienta para la mejora del rendimiento. La simulación actúa como un laboratorio de experimentos, sólo que este laboratorio no es físico, sino que es un modelo computacional [6].

Las ventajas de la simulación: permite probar todos los aspectos de un cambio propuesto o alguna adición sin comprometer recursos para su adquisición, permite acelerar o reducir el fenómeno que se está simulando, mostrar a los administradores porque ciertos fenómenos ocurren en un sistema real, se pueden explorar nuevas políticas, procedimientos de operación, o métodos sin el gasto e interrupción de experimentar con el sistema real, identificar restricciones, ayuda a entender a un sistema e inferir acerca de cómo un sistema se comportará, entre otras [7].

La simulación de eventos discretos se refiere a la modelación de un sistema y su comportamiento a lo largo del tiempo, siendo una representación en la que las variables cambian instantáneamente en diferentes puntos del tiempo (matemáticamente se dice que el sistema puede cambiar en solo en un número contable de puntos en el tiempo). Estos puntos en el tiempo son aquellos en los que ocurre un evento, donde un evento se define como una ocurrencia instantánea que puede cambiar el estado del sistema [8].

SIMIO es un marco de simulación-modelada basado en sistemas inteligentes, objetos que permiten construir modelos utilizando la biblioteca estándar predeterminada (para simulación de eventos discretos) o creando gráficamente objetos completamente nuevos (un objeto en SIMIO tiene propiedades, estados y lógica.). La biblioteca estándar, que contiene 14 definiciones de objetos, se puede modificar y ampliar mediante lógica de proceso. Un objeto de una biblioteca puede ser un cliente, una máquina, un médico o cualquier otra cosa. que podría encontrar en un sistema, la lógica y la animación del modelo se crean en un solo paso, normalmente en una vista bidimensional. Sin embargo, uno puede cambiar a una vista en perspectiva tridimensional (3-D) [9].

Otro tipo de simulación enfocada al tratamiento del vidrio se encuentra en [10] que estudia las propiedades físicas del vidrio para comprender su comportamiento bajo ciertas condiciones, posteriormente aplica experimentos mediante simulación y analiza las diferencias de temperatura en ciertas zonas del vidrio. Realiza corridas de algunos casos, generando gráficos para evaluar el comportamiento de la temperatura a lo largo del tiempo y comparando las corridas entre sí. Demostrando así que la simulación puede ser aplicada de distintas maneras.

Metodología

Formular el problema

Como inicio de la metodología, es de suma importancia conocer el sistema que será simulado, que, en este caso, es el área de templado de una empresa dedicada a la producción de vidrio automotriz, en la cual se estuvo de manera presencial durante 3 días para poder comprender el proceso. El principal objetivo del estudio es desarrollar un modelo de simulación que logre representar adecuadamente el área de templado de la empresa. Esto con la intención de tener un sistema virtual que permita conocer a profundidad el desempeño del área, e incluso usarlo como un entorno de pruebas para conocer que pasaría al realizar modificaciones. Para ello fue utilizado el software SIMIO.

Recolectar datos y definir el modelo

En este paso se realizó la recolección de los datos, los cuales, dadas las especificaciones del proyecto, son los tiempos de procesamiento en cada uno de los procesos que conforman al área, la cual presenta un total de 12 procesos: Carga, Corte, Desprendimiento, Pulido, Barrenado, Lavado, Volteado, Impresión, Sistema de visión, Templado, Inspección y Empaque. Para ello, se llevó a cabo una toma de tiempos en cada uno de los procesos a excepción Templado, debido a que su información se obtuvo de la experiencia del personal. Esta toma de tiempos se realizó sobre un mismo modelo de vidrio durante la estancia en la empresa. El número de observaciones tomadas fueron 15.

Estos datos fueron obtenidos con una aplicación de cronometro del teléfono celular, guardados como archivo .csv y posteriormente exportados a Excel.

Los datos fueron analizados de manera estadística mediante la prueba de bondad de ajuste del tipo Anderson-Darling y Kolmogorov-Smirnov mediante la utilización del software Stat::Fit., el motivo de estas pruebas fue para obtener el tipo de distribución que sigue cada uno de los procesos. En la Figura 1 se muestra el resultado obtenido respecto al comportamiento de los datos observados del proceso de Carga.

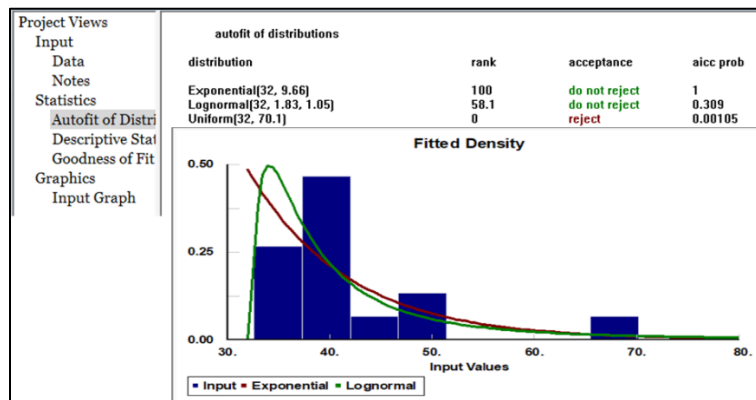


Figura 1 Tratamiento estadístico del proceso de Carga.

Tras el análisis de los datos obtenidos de los procesos, se encontró que algunos procesos no parecían seguir alguna distribución conocida, o al menos no de manera aceptable, por lo cual fue necesario recurrir a una distribución empírica o también llamada distribución libre. Para ello, se realizó una tabla de frecuencias en donde se obtuvieron los límites de clase y la probabilidad para cada uno de los límites. La Tabla 1 presenta la tabla de frecuencias generada para el proceso llamado Barrenado.

Tabla 1 Tabla de frecuencias para el proceso de Barrenado.

Clase	Lim. Inf.	Lim. Sup.	Frecuencia	Frec. Acum.	Prob.	Prob. Acum
1	10.63	12.89	9	9	0.60000	0.60000
2	12.90	15.16	4	13	0.26667	0.86667
3	15.17	17.43	1	14	0.66667	0.93334
4	17.44	19.70	1	15	0.66667	1

Se realizó el análisis de los datos para cada uno de los procesos con la finalidad de conocer su distribución, en el caso del proceso de Templado, se decidió utilizar una distribución triangular debido a que medir el tiempo de proceso para cada pieza es de difícil acceso puesto que estas entran a un horno. Por ello, se obtuvo el valor mínimo, máximo y moda de la experiencia del personal. En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos respecto a las distribuciones.

Tabla 2 Distribuciones de los procesos.

Proceso	Distribución
Carga	Lognormal
Corte	Normal
Desprendimiento	Normal
Pulido	Normal
Barrenado	Empírica
Lavado	Normal
Volteado	Empírica
Impresión	Empírica
Sistema de visión	Empírica
Templado	Triangular
Inspección	Normal
Empaque	Lognormal

Finalmente, como parte de la definición del modelo, se utilizó el software SIMIO para crear un esbozo del modelo, basándose en los 12 procesos observados de acuerdo con sus distribuciones obtenidas y como se relacionan entre sí, es decir que se realizó un esbozo del modelo de simulación de toda el área de estudio.

Validar el modelo conceptual

En este punto fue necesario realizar una comparación entre el layout del área con el esbozo del modelo realizado, así como también se preguntó al personal de la empresa si el esbozo realizado da una idea general del modelo. De igual manera fue necesario realizar una revisión de las distribuciones para corroborar que existía congruencia entre los tiempos de muestra obtenidos y el comportamiento de la distribución obtenida mediante el software.

Tras realizar las comparaciones y preguntar al personal sobre la similitud entre el esbozo y el área, se obtuvo que realmente existe un parecido, por lo que fue posible continuar con el modelo.

Construir el modelo de simulación

En esta parte de la metodología se realizó el detallado del esbozo del modelo que se tenía, esto con la intención de que el modelo se comportara lo más parecido al sistema real. Para ello se modificaron cada uno de los 12 procesos, cambiando algunas configuraciones y haciendo uso de las distintas herramientas que ofrece SIMIO hasta lograr el comportamiento deseado.

Como parte de estas modificaciones se configuró un vehículo para reaprovisionar materia prima (vidrio) cada que se agotara en el primer proceso; también se modificó el tamaño del vidrio después de un proceso de corte para pasar de un vidrio a dos de menor tamaño; entre más configuraciones hechas a las dinámicas del modelo.

Así mismo, el modelo fue modificado gráficamente para que no solamente el comportamiento fuera parecido, sino que también tuviera un ambiente visualmente similar al área real donde se encuentra la maquinaria y los trabajadores, en [11] se habla acerca de la importancia de generar un modelo adecuado y de la utilidad que se puede obtener del aspecto visual, inclusive llegando a utilizar la realidad virtual en su trabajo. En la Figura 2 se presentan dos capturas del modelo de simulación en 3D obtenido.

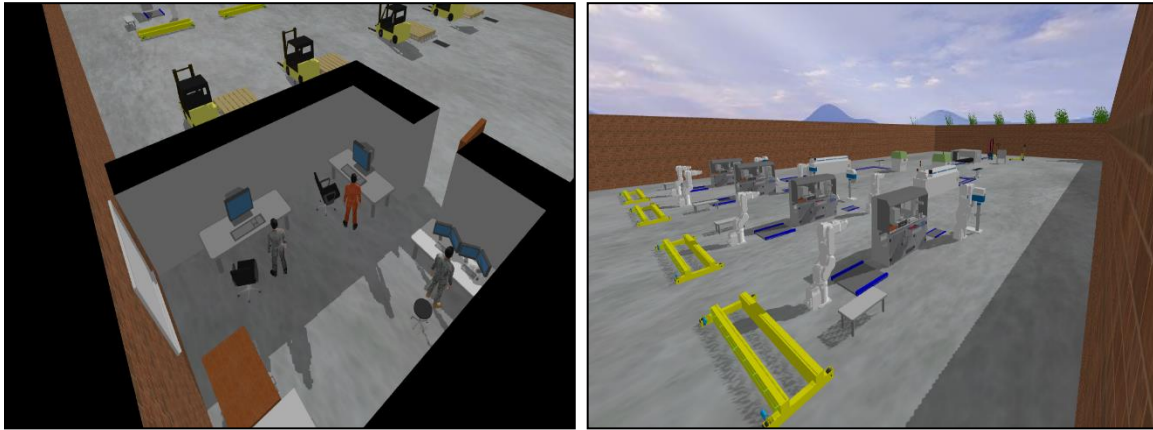


Figura 2 Vistas del modelo de simulación en 3D.

Realizar corridas piloto

Una vez que el modelo fue configurado en la parte lógica el sistema, se agregaron las distribuciones obtenidas en base a los datos recabados y se ambientó al grado de parecerse gráficamente al área de la empresa, es necesario correr el modelo en busca de errores que pudieran detener al modelo durante la simulación.

Dado que el modelo no presentó ningún error, se prosiguió a generar datos con el mismo, es decir, realizar distintas corridas de simulación del modelo a las cuales se les llama corridas piloto, esto con la intención de analizar cómo se comportaban los datos.

En este caso se realizaron 10 corridas piloto, modificando en cada una de ellas una parte en SIMIO que sirve para cambiar la semilla inicial con la cual se ejecutó cada corrida, esto fue con la intención de poner a prueba al modelo bajo condiciones iniciales distintas. En estas 10 corridas podrían haberse analizado una gran cantidad de datos generados por el software, a pesar de ello, se decidió enfocarse en los tiempos de los procesos, que son los mismos que fueron estudiados al inicio de la metodología.

Validar los datos obtenidos en las pruebas piloto

Basándose en los datos obtenidos al inicio de la metodología, se realizó una comparación estadística contra los datos generados por el modelo de simulación. Esta comparación se realizó con la intención de probar si el modelo estaba generando resultados estadísticamente parecidos a los observados, a pesar de que numéricamente pudieran haber sido distintos. A esta comparación estadística se le llama Prueba t-pareada, con esta prueba se busca obtener un intervalo, el cual si contiene al cero significa que el modelo sí es significativo, es decir que sí representa al sistema real; en caso de no incluir al cero, el modelo realizado no representa al sistema real. La Tabla 3 contiene dos muestras de datos, una de ella son datos reales del sistema observados y la otra son datos simulados por medio del modelo.

Tabla 3 Muestras apareadas del tiempo promedio del proceso de carga.

Corridas	X_j	Y_j	Z_j	$(Z_j - \bar{Z}_{10})^2$
1	45.26	41.619	3.6406	12.0694
2	70.11	41.675	28.4350	799.0920
3	33.18	41.768	-8.5876	76.6326
4	32.60	41.603	-9.0032	84.0821
5	33.73	41.633	-7.9026	65.1100
6	35.40	41.746	-6.3459	42.4101
7	39.15	41.575	-2.4253	6.7171
8	39.52	41.530	-2.0095	4.7347
9	41.07	41.84	-0.7696	0.8762
10	48.45	41.817	6.6330	41.8156

Donde:

X_j = Tiempo promedio del proceso de Carga del sistema real

Y_j = Tiempo promedio del proceso de Carga del modelo de simulación.

Antes de continuar con algunos cálculos matemáticos, fue necesario establecer las siguientes hipótesis:

H_0 : No existe diferencia significativa entre la media de datos del sistema real y la media de datos del modelo de simulación

H_1 : Existe diferencia significativa entre la media de datos del sistema real y la media de datos del modelo de simulación

Se utilizó un nivel de significancia del 5%, que corresponde a un valor de alfa de 0.05, con esto se determinó el intervalo de confianza. En la Ecuación 1 se muestra el resultado.

$$\bar{Z}_{10} \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\widehat{Var}(\bar{Z}_n)} = (-7.488, +7.821) \quad \text{Ecuación 1}$$

Obteniendo un intervalo de confianza que incluye al 0, con lo cual, con un nivel de confianza del 95%, no se rechazó H_0 . De esta manera, se tuvo la suficiente evidencia estadística para concluir que la diferencia entre los datos no era estadísticamente significativa, por lo tanto, el modelo se consideró válido.

Este mismo procedimiento fue aplicado a las demás variables elegidas, obteniendo en ellas que el intervalo obtenido incluía al cero, reafirmando la validez del modelo.

Aplicar un diseño de experimentos

El realizar corridas de simulación puede resultar algo sencillo una vez que el modelo ha sido comprobado, sin embargo, esto puede resultar algo tedioso puesto que podrían hacerse demasiadas corridas innecesarias o, por el contrario, realizarse corridas muy por debajo de las necesarias para obtener datos con los cuales trabajar. Para evitar esta problemática se recurrió a un diseño de experimentos para encontrar el número óptimo de corridas a simular, mediante cálculos estadísticos se obtuvo un número determinado de corridas que ayudarán a generar buenos resultados.

Basándose en las 10 corridas piloto del tiempo promedio del proceso de Carga, se determinó un nivel de confianza del 95% y un error absoluto (β) de 0.05, de igual manera se calculó la media y la varianza. En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4 Datos para calcular el número óptimo de corridas.

Consecutivo	Tiempo promedio de Carga
1	41.61945
2	41.67532
3	41.76755
4	41.60317
5	41.63262
6	41.74585
7	41.57530
8	41.52950
9	41.83965
10	41.81705
\bar{x}	41.68054
S^2 n	0.01130
β	0.05000

Para calcular el número óptimo de corridas, denominadas como $n^*(\beta)$, se utilizó la Ecuación 2:

$$n^*(\beta) = \left\{ i \geq n: t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta \right\} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

i = Número óptimo de corridas

β = Error absoluto

α = Nivel de significancia

$1 - \alpha$ = Nivel de confianza

S^2n = Varianza de las corridas de la variable

t = Valor de tablas de la distribución t-student

n = Número de corridas piloto

De esta manera fue posible determinar el número óptimo de corridas incrementando el valor de i hasta que se cumplió la desigualdad de que el valor de tablas de la distribución t-student fuera menor o igual al error absoluto. Utilizando los datos de la Tabla 4 se obtuvo la Ecuación 3.

$$i = 20 \quad 2.093024054 \sqrt{\frac{0.01130178}{20}} = 0.049754533 \leq 0.05 \quad \text{Ecuación 3}$$

Obteniendo así que el número óptimo de corridas era de 20 veces.

Simular el número óptimo de corridas

En este paso se realizaron las corridas de simulación consideradas como las óptimas de acuerdo con lo obtenido en el paso anterior. A partir de estas corridas fue posible observar a detalle otras características del modelo de simulación que, como ya ha sido comprobado, se asemeja al sistema real.

Alternativa de mejora

Se decidió poner a prueba el sistema mediante el modelo de simulación, esto con la intención observar los cambios que se presentan. Para ello, se modificó la cantidad de piezas que pueden viajar a través del proceso llamado Sistema de visión, en el sistema real se esperaría poder ampliar el recorrido de la pieza a través de este proceso de tal manera que se pueda contener una pieza más. El proceso mencionado fue elegido debido a que en este llegan los demás procesos, dicho de otra manera, tiene un mayor flujo de material.

La modificación fue aplicada cambiando la capacidad inicial del proceso, para posteriormente utilizar una herramienta del software SIMIO que permitió realizar un diseño de experimentos mediante el cual el modelo se simuló varias veces de manera automática. Esto con la intención de comprobar que no existiera ningún error en este modelo modificado.

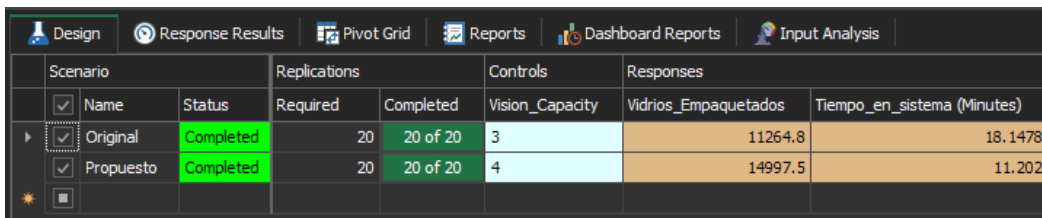
Comparación del modelo y el escenario propuesto

Se contemplaron dos escenarios, uno de ellos fue el modelo de simulación explicado en los puntos anteriores, que fue llamado como Original, y un escenario de alternativa de mejora llamado Propuesto. Por otra parte, fueron definidas dos variables que se compararon con la ayuda del software, estas variables son: vidrios empaquetados y tiempo promedio del vidrio en el sistema. Ambos escenarios se simularon de manera simultánea con 20 corridas cada uno mediante la herramienta de experimentos de SIMIO.

Resultados y discusión

Resultados de la comparación entre los modelos

Como resultado del experimento realizado con la ayuda del software en donde se simularon ambos escenarios 20 veces de manera simultánea, se obtuvo la Figura 3 que muestra el comportamiento obtenido del modelo bajo condiciones normales (Original), es decir una capacidad del sistema de visión de 3, y el modelo Propuesto con una capacidad de 4. En donde se incluyeron las variables previamente mencionadas.



Scenario		Replications		Controls	Responses		
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	Vision_Capacity	Vidrios_Empaquetados	Tiempo_en_sistema (Minutes)
<input checked="" type="checkbox"/>	Original	Completed	20	20 of 20	3	11264.8	18.1478
<input checked="" type="checkbox"/>	Propuesto	Completed	20	20 of 20	4	14997.5	11.202

Figura 3 Resultados del experimento.

Con base al análisis resultante de la Figura 3 se pudo observar que existe un aumento del 38.27 % en los vidrios empaquetados al aumentar en la capacidad del Sistema de visión; así mismo se observa una disminución del 13.31% en el tiempo promedio en el sistema del vidrio aplicando la misma modificación.

De igual manera se destaca que el modelo de simulación obtenido como resultado del desarrollo de la metodología resulta ser representativo del área de la empresa, lo cual era el principal objetivo buscado. Puesto que, por una parte, se pudo estudiar al sistema real por medio del modelo de simulación original, y, por otra parte, se dio la facilidad de realizar modificaciones al modelo con la finalidad de buscar mejoras como la obtenida en el escenario realizado.

Trabajo a futuro

Como parte del trabajo futuro se recomienda continuar con el análisis de los distintos diseños de vidrio que son procesados en el área, esto con la intención de generar un modelo de simulación más flexible. De igual manera incluir los tiempos de paro por fallas y por cambio de diseño. Estos serían aspectos que complementarían en buena manera el actual modelo de simulación.

Conclusiones

Con la metodología utilizada en el presente proyecto fue posible obtener un modelo de simulación que representa al sistema real estudiado, tanto en los aspectos numéricos como en la parte visual, esta última fue posible mediante la utilización de las herramientas 3D que ofrece SIMIO, facilitando la familiarización con el modelo creado. Este modelo también fue capaz de poner a prueba las condiciones del sistema real sin la necesidad de afectar la productividad, esto fue mediante el escenario evaluado, donde fue posible encontrar un escenario en el cual, de ser posible el aumento de la capacidad del proceso de Sistema de visión, se tendría un aumento en la cantidad de vidrios empaquetados, así como una disminución del tiempo promedio del vidrio en el sistema. Con lo cual se destaca que se encontró una posible área de mejora para la empresa sin haber modificado directamente al proceso, y que, en caso de ser tomada en cuenta, se tendría un aumento en la productividad del área de templado.

De igual manera y más allá del resultado obtenido, se destaca la importancia y utilidad de la posibilidad de modificar aspectos de un modelo de simulación de una manera sencilla y rápida una vez que se ha obtenido un modelo adecuado.

Este modelo a pesar de representar adecuadamente el sistema real sería complicado que llegue a imitar en su totalidad a la realidad, debido a que existe una gran cantidad de variables presentes a lo largo del proceso. Sin embargo, no todas las posibles variables pueden llegar a ser de interés y, a su vez, dependen del estudio que se desea realizar. Por ello, se considera al modelo de simulación desarrollado una buena representación que refleja el comportamiento de los procesos, dado que este ha sido el enfoque inicial pero que de igual manera puede ser la base para un posible trabajo futuro.

Agradecimientos

El desarrollo de este proyecto fue posible gracias al apoyo recibido por parte Tecnológico Nacional de México campus Orizaba, así mismo al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y de igual manera al asesor externo que dio el apoyo necesario para facilitar la conclusión del proyecto.

Referencias

- [1] C. M. Garcia Remigio, M. A. Cardenete, P. Campoy Muñoz y F. Venegas Martínez, «Valoración del impacto de la industria automotriz en la economía mexicana: una aproximación mediante matrices de contabilidad social,» *El trimestre económico*, vol. 84, n° 2, pp. 437-461, 2020.
- [2] S. Corrales C., «La industria del vidrio en el noroeste de México,» *Trayectorias*, vol. 12, n° 30, pp. 95-118, 2010.
- [3] C. Pearson, D. Levacic, D. Bergant y M. Diez, «Manual del vidrio plano,» CAVIPLAN, Buenos aires, 2009.
- [4] E. A. Avilés Medina, «Estudio de factibilidad para la producción y la comercialización de vidrio templado en la ciudad de Guayaquil,» UEES, Guayaquil, 2014.
- [5] M. Á. Villegas Broncano, J. A. Durán Suárez, A. Sorroche Cruz y J. M. Fernández Navarro, *La escultura en vidrio*, Granada: Editorial universidad de Granada, 2017.
- [6] J. Allen Joines y S. Dean Roberts, *Simulation modeling with SIMIO: a workbook*, Pensilvania: SIMIO LLC, 2015.
- [7] J. C. Marín Amador, «Incremento de la productividad de una línea de producción mediante simulación en Simio y Witness,» Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, Veracruz, 2019.
- [8] A. M. Law, *Simulation Modeling and Analysis*, Quinta ed., New York: McGraw-Hill, 2015.
- [9] J. S. Smith y D. T. Sturrock, *Simio and simulation: Modeling, analysis aplicaciones*, Sexta ed., Simio LLC, 2021.
- [10] F. A. Celestino Guajardo, «Simulación de termo-fromado de un vidrio con aplicación automotriz,» Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, 2017.
- [11] R. Ojstersek, I. Palcic y B. Buchmeister, «Real-Time manufacturing optimization with a simulation model and virtual reality,» *Procedia Manufacturing*, vol. 38, pp. 1103-1110, 2019.

Reducción del tiempo de manufactura mediante la metodología DMAIC en una empresa textil

L. A. Hernández Sánchez¹, A. Calderón Jiménez^{1*}, S. Ginés Palestino¹, N. A. Fuentes Sandoval¹, O. Ávila Peralta¹,

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán

¹Profesor investigador de la división de Ingeniería Industrial

*lhernandezs@cdserdan.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

En este trabajo de investigación se presenta un problema dentro del proceso de una empresa textil, esto se debe a que se están manufacturando los lotes fuera del tiempo establecido (dos días), el cual se busca reducir, es por ello que se decidió utilizar un estudio de variable cuantitativa. Pueden influir muchos factores que afecten el retraso de los lotes a lo largo de todo el proceso, para resolver el problema, lo primero fue identificar las actividades en las que se pueda obtener una mayor área de oportunidad, realizar propuestas de mejora utilizando herramientas y técnicas de ingeniería industrial.

La metodología usada para proponer soluciones fue DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). De acuerdo a los resultados del estudio se decidió trabajar en los procesos de Surtido y Cargado de hilo crudo, enfocándose principalmente en la reducción de los desperdicios de: transportes, esperas y movimientos innecesarios; lo que permitirá mejorar el tiempo de manufactura y acercarse al indicador deseado.

Palabras clave: Lean Six Sigma, Manufacturing Lead Time, DMAIC, área 100.

Abstract

This report presents a problem inside the process of a textile company, this is because batches are being manufactured outside the set time (two days), which is sought to reduce, that is why it was decided to use a quantitative variable study. These delays can be influenced by many factors affecting the batches along the entire process. In order to solve the problem, the first thing was to identify the activities with larger area of opportunities and then, to identify proposals for improving using industrial engineering tools and techniques.

The methodology used to propose solutions was DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control). According to the study results it was decided to work in the processes of Assortment and Loading of raw yarn, mainly focusing on reducing the waste of transport, waiting time and unnecessary movements; allowing to improve manufacturing time and to approach to the desired indicator.

Key words: Lean Six Sigma, Manufacturing Lead Time, DMAIC, area 100.

Introducción

En los últimos años la gran competencia entre empresas las ha obligado a brindar productos o servicios de calidad en tiempo y forma hacia sus clientes, cumplir o no con estas expectativas puede ser clave para permanecer dentro del mercado. Los problemas que se presentan dentro de una empresa pueden repercutir en el incremento de los tiempos de producción y genera tiempo ocioso, el cual pudiera utilizarse productivamente, para poder ser más competitivo se requiere emplear herramientas y técnicas cada vez más sofisticadas [5].

La planta textil, motivo de este trabajo, está presentando problemas para poder entregar algunos de los pedidos dentro del tiempo de plazo prometido, esto se debe a muchos factores que se presentan dentro del proceso de manufactura, entre ellos se encuentran: colas de espera, transportes innecesarios, demoras, falta de coordinación entre las diferentes partes del proceso, etc. Todo esto en conjunto ocasiona un incremento del tiempo establecido para manufacturar los productos (MLT, *Manufacturing Lead Time*) [1] que es de dos días y atrasa los demás pedidos que se encuentran en espera, ocasionando un tiempo de holgura en las actividades posteriores.

El proceso de producción básicamente consiste en el teñido, enconado y empaquetado del hilo, posteriormente se coloca en el Almacén de producto terminado en espera de ser distribuido a los clientes por el área de Logística de transportes.

Metodología

La metodología utilizada en el presente trabajo fue DMAIC, es un procedimiento de cinco pasos que produce mejoras en el desempeño de los procesos. En este caso se busca reducir el tiempo de entrega de manufactura a menos de dos días, es por ello que se decidió utilizar un estudio de variable cuantitativa. En la figura 1 se muestra las fases para seguir la metodología DMAIC.

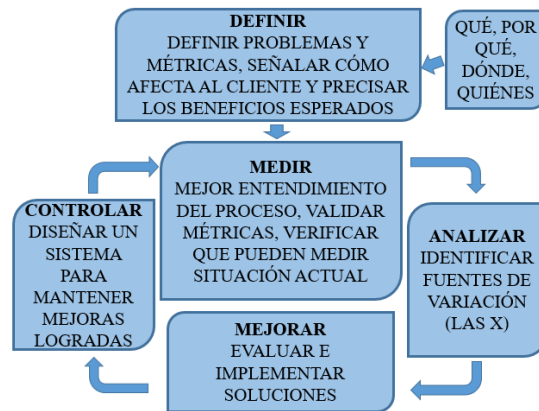


Figura 1 fases para seguir la metodología DMAIC [4].

Definir

Se solicitaron tiempos de manufactura de las últimas 23 semanas, los cuales representan un total 38,435 lotes. Prácticamente la mitad se entregaban en menos de dos días y la otra mitad no, como se observa en la tabla 1.

Tabla 1 Tiempo de manufactura de lotes con respecto a límite especificado de dos 2 días.

Tiempo de manufactura	Número de lotes	% del número de lotes
Menor o igual a 2 días	19,570	50.92%
Mayor a 2 días	18,865	49.08%
Total	38,435	100.00%

Son nueve áreas principales con las que se cuenta dentro de la empresa en el orden en el que se indica a continuación: 1) Almacén de hilo crudo, 2) Cargado, 3) Teñido, 4) Color Match, 5) Secado, 6) Acabado, 7) Rencco, 8) Case y 9) Almacén de producto terminado. Para el diagnóstico se utilizó un *Value Stream Mapping* (VSM), ya que este fomenta la adquisición de datos de una manera sistemática que a menudo brinda información adicional [6]. En el departamento de Ing. Industrial se contaba con un VSM general de la empresa (Ver figura 2), en este se observa que el área de Color Match presenta un tiempo de ciclo mayor (320 min), seguido de Teñido (150 min), Acabado (65 min) y Secado (28 min), posteriormente se encuentra el área de Cargado (15 min), la cual trabaja de la mano con Almacén de hilo crudo. En las 4 áreas principales se trabajaba paralelamente en proyectos de mejora, es por ello que, junto con el equipo de Ingeniería, se decidió trabajar en las áreas de: Almacén de hilo crudo y Cargado, estas se encerraron en un recuadro rojo (Ver figura 2).

Dentro de estas dos áreas abarca las acciones de liberación de las ordenes de SAP hasta el cargado de hilo crudo que se conoce como paso 100. Los departamentos que intervienen en el paso 100 son: 1) Planeación de la producción, 2) Desarrollo de fórmula, 3) Programación de tintorería, 4) Surtido de hilo crudo y 5) Cargado de hilo crudo. Cabe mencionar que los pasos en 200 adelante son los procesos posteriores.

Fue necesario elaborar: el *Project charter*, en el cual se detallaron los aspectos fundamentales y cruciales del proyecto [7], el *Project scope* para determinar los procesos que son contemplados dentro del proyecto y los que son excluidos de este [3] y el SIPOC (*Supplier, Input, Process, Output, Customer*), en el cual se comprende cómo funciona el proceso y como se relaciona con su entorno [4]. Posteriormente se identificaron los indicadores de calidad necesarios, para ello se determinaron las Variables Críticas de la Calidad (CTQ's) que son vitales, mediante el diagrama de CTQ's [2] mostrado en la tabla 2.

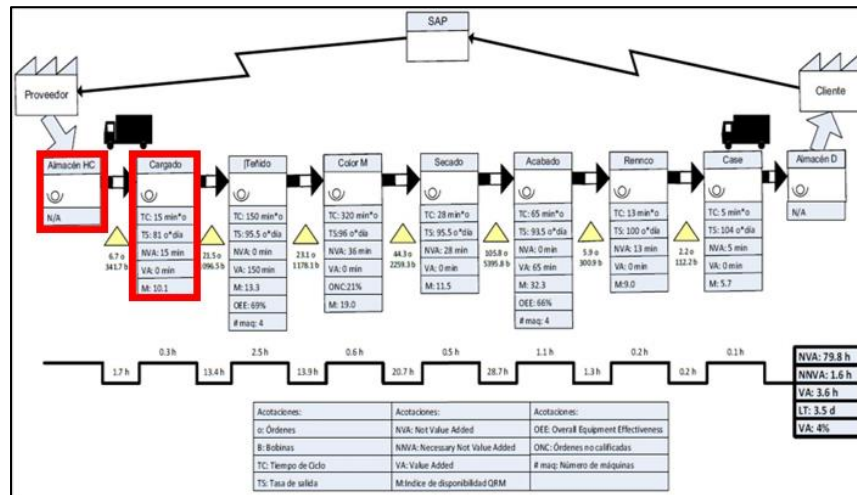


Figura 2 Value Stream Mapping del proceso general [8].

Tabla 2 Diagrama de CTQ's del área 100.

VOC (Voice of the customer)	Key Issue	CTQ's (Critical to Quality)
Reducir el tiempo de manufactura del área 100 en Unidad de Servicio y Línea de Servicio	WIP	Número órdenes SAP
	Bobinas trabajadas correctamente	Proceso dentro de límites
		Boninas bien compactados
		Bobinas surtidas antes de parar máquinas
	Desperdicios	Diferencias recorridas
		Producto solicitado y sin manchas
Movimientos innecesarios		

Medir

Se realizó un diagnóstico de la situación actual de la empresa hasta el paso 100 mediante el desarrollo de un VSM del estado actual, como se indica en la figura 3. Considerando principalmente el tiempo de operación del VSM, se detectó que se puede tener una mayor reducción del MLT si se enfoca en las actividades de Surtir (lotes programados y buffer) con un tiempo de operación de 261.6 s y pesar hilo crudo con uno de 677.4 s.

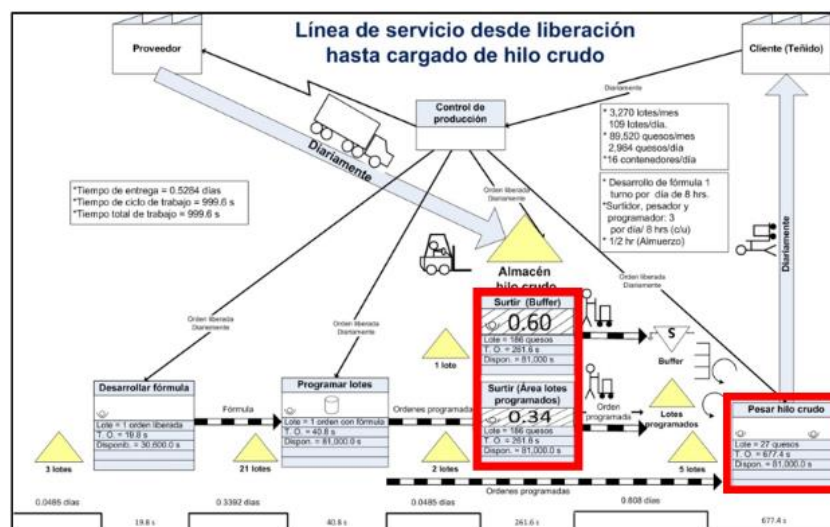


Figura 3 Value Stream Mapping del estado actual para el área 100.

Se analizó el MLT hasta el paso 100 de Surtir hilo crudo para buffer y pedidos programados mediante un histograma (figura 4), ya que, por medio de este se puede ver la tendencia central de los datos, facilita el entendimiento de la variabilidad y favorece el pensamiento estadístico [4]. Se evidenció el comportamiento del MLT hasta este paso y visualizó que sus tiempos son muy similares, por lo que se decidió manejar los datos en conjunto, obteniendo un MLT de 0.53 días.

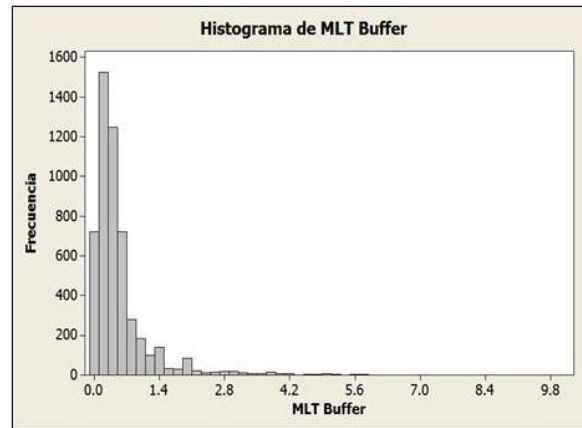


Figura 4 Histograma del MLT que abarca el área 100 (elaboración propia).

Analizar

Existen tres tipos de áreas dependiendo del volumen de las maquinarias a las que se les surte hilo crudo: Unidad de servicio (lotes de 2 a 8 bobinas), Línea de servicio (lotes de 9 a 64 bobinas) y Gran volumen (lotes de 65 a 330 bobinas). Con el equipo de trabajo se determinó que se trabajaría en las actividades relacionadas con el área de Línea de servicio, dicha área se visualiza en la figura 5.

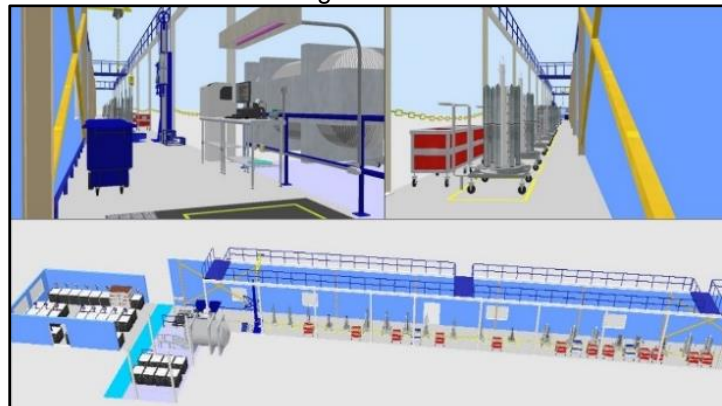


Figura 5 Área de Línea de servicio.

Se realizó un estudio de tiempos de las actividades que conforman el paso 100 dentro del área de Línea de servicio. Se utilizó un método estadístico con un nivel de confianza del 95.45% para determinar el número de observaciones necesarias, y este fue de 27. Una vez que se cuenta con los tiempos cronometrados, la calificación de la actuación y la distancia ponderada (los tipos de bobina requeridas tienen diferente ubicación dentro del buffer), se logra obtener el tiempo normal ponderado, al cual se le designaron las tolerancias necesarias. Para tener una mejor comprensión, se resumen los tiempos estándar agrupados y se exponen en la tabla 3. Estos tiempos fueron utilizados para elaborar un diagrama de Pareto, ya que este indica que cerca de 20% de las causas originan 80% del efecto, y 80% de las causas restantes son responsables de 20% del resto del efecto [9]. Y así contemplar las actividades más significativas en las cuales se debe tomar acciones. El diagrama se visualiza en la figura 6, este demuestra que las actividades que representan una mayor cantidad de tiempo son comprimir material y pesar hilo crudo, que juntas equivalen a un 45.8% del tiempo total.

Tabla 3 Resumen de los tiempos estándar del área de Línea de servicio.

Actividades agrupadas	Tiempo (seg)
Preparar orden de SAP	105.1
Pesar hilo crudo	149.2
Confirmar cargado	92.4
Comprimir material	199.7
Surtir material pesado	74
Trasladar material a Secado	141.8

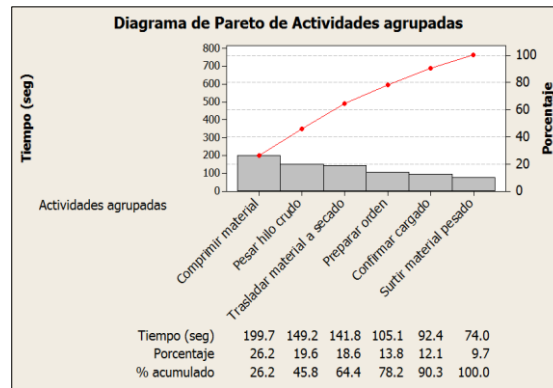


Figura 6 Diagrama de Pareto de las actividades de Cargado de hilo crudo.

Mejorar

Con la finalidad de disminuir el tiempo de manufactura, se generaron tres propuestas y así se puede decidir cual generaría un mayor impacto para la empresa. Estas se explican a continuación:

Propuesta 1 comprimido de hilo crudo

La primera propuesta se enfoca en la actividad de compresión de hilo crudo. Existen seis tipos de portamateriales dentro de Línea de servicio, dependiendo de su capacidad de almacenar bobinas: 24, 25, 60, 24, 35 y 64, estos se pueden apreciar en la figura 7, al igual que la máquina compresora.



Figura 7 Portamateriales y máquina compresora de Línea de servicio (elaboración propia).

La manera de comprimir las bobinas de hilo actualmente es mostrada en la figura 8 a), en esta se puede observar que para comprimir los cuatro bastones del portamaterial se requiere de cuatro ejecuciones de compresión. Lo que se propone, es que, con el apoyo de una estructura, se puede comprimir todas las bobinas en una sola ejecución en lugar de utilizar cuatro como se muestra en la figura 8 b).

Se enfocaría con los tipos de portamaterial: 64, 24 y 60, que representan un 68.2% del tiempo de compresión total. Dicho tiempo proyectándolo actualmente a un año equivale a 31.91 días en realizar esta actividad, mediante la propuesta se reduciría este tiempo a 17.77 días, es decir 14.14 días al año.

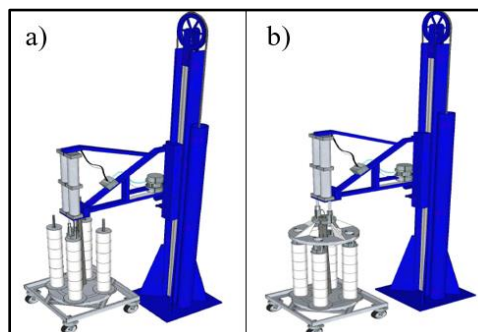
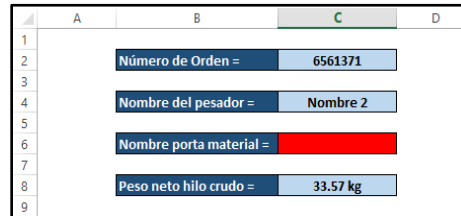


Figura 8 a) Comprimido de hilo crudo actual b) Comprimido de hilo crudo propuesto.

Propuesta 2: pesado de hilo crudo

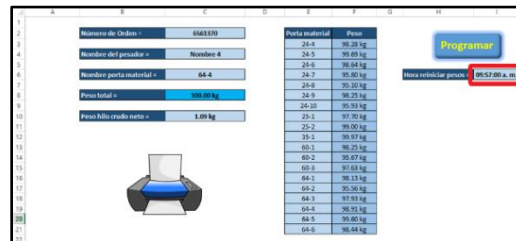
Otra área de oportunidad para reducir el tiempo es en el pesado de hilo crudo, este se lleva a cabo de la siguiente manera: colocar portamaterial en báscula, pesar portamaterial, dirigirse a Buffer stock, llenar portamaterial, dirigirse a báscula y pesar portamaterial y bobinas, las cuales en conjunto suman un total de 149.2 s. Al realizar todas estas actividades, la báscula esta indisponible para que sea utilizada por otro trabajador, debido a que debe tarar el portamaterial vacío (sin hilo crudo) y después pesarlo nuevamente lleno (con hilo crudo). Para esta operación utilizan actualmente un formato de hoja de Excel con los campos mostrados en la figura 9.



1			
2	Número de Orden =	6561371	
3			
4	Nombre del pesador =	Nombre 2	
5			
6	Nombre porta material =		
7			
8	Peso neto hilo crudo =	33.57 kg	
9			

Figura 9 Formato actual del pesado de hilo crudo con todos los campos llenos.

Se propone utilizar una hoja de cálculo en la cual se guarden los pesos de los diferentes portamateriales cada 24 horas. El formato se visualiza en la figura 10, de esta manera se incrementaría la disposición de la báscula drásticamente, reduciendo las colas de tiempo de espera para utilizarla. Considerando que se tardan 149.2 s en pesar un lote, por día se producen 109 lotes y se laboran 226 días por año, por lo que se realizó una conversión y se determinó que anualmente para pesar el hilo crudo se requiere un tiempo de 42.54 días, sin embargo, con la nueva hoja de cálculo, al reiniciar los pesos de los portamateriales una vez al día, el pesado del hilo crudo tomaría un tiempo de 2.94 días, es decir se reducirían 39.60 días anualmente.



Porta material	Peso
24.4	36.28 kg
24.5	36.25 kg
24.6	36.64 kg
24.7	36.60 kg
24.8	36.25 kg
24.9	36.25 kg
25.0	36.25 kg
25.1	36.25 kg
25.2	36.25 kg
25.3	36.25 kg
25.4	36.25 kg
25.5	36.25 kg
25.6	36.25 kg
25.7	36.25 kg
25.8	36.25 kg
25.9	36.25 kg
26.0	36.25 kg

Figura 10 Formato del pesado de hilo crudo propuesto con los campos llenos.

Propuesta 3: Value Stream Mapping del estado futuro

Un mapa del estado futuro cierra la brecha entre el estado actual y el ideal, incorpora las realidades de los límites técnicos, los presupuestos y el tiempo [6]. En la figura 3 se puede observar que en el VSM del estado actual se encuentran las actividades de: desarrollo de fórmula, programar lotes, surtir hilo crudo y pesar hilo crudo.

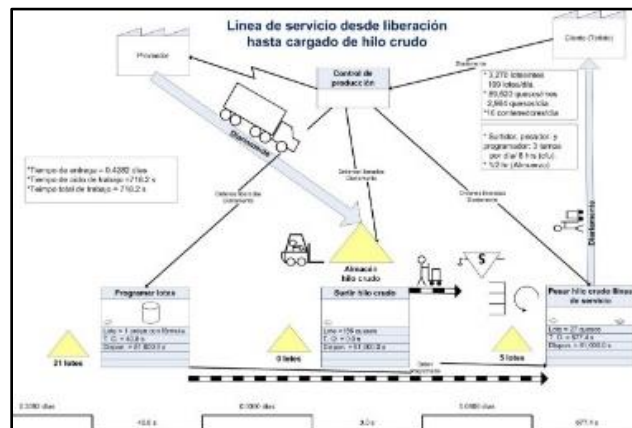


Figura 11 Value Stream Mapping del estado futuro del área 100.

En el momento que se programa un lote de hilo, se da la instrucción de preparar la fórmula del color para teñirlo, por lo que ambas acciones se llevan a cabo en cadena, pero tiempo antes de que se programe el lote se podría desarrollar la fórmula del color, ya que es un pedido que el cliente ya ha solicitado, de esta manera se podría

descartar la actividad de desarrollo de fórmula dentro del VSM. Considerando que en un año se produjeron 89,559 lotes, de estos, el 5.1% requirieron modificación de fórmula, es decir 4,568 de los lotes fueron retenidos para desarrollar su nueva fórmula, ya que no existía el color que solicitó el cliente y se debe igualar de acuerdo a sus especificaciones. Cada uno de estos lotes tardó en espera un promedio de 3.14 días. Al hacer este cambio, el VSM quedaría como en la figura 11, considerando que el tiempo para desarrollar la fórmula por lote es de 3.14 días y que 4,568 lotes pasaron por este proceso, lo que generaría una reducción equivalente a 14,343.52 días, que es lo que actualmente suman las esperas de los lotes en conjunto durante un año.

Cabe mencionar, que para cada una de las propuestas se realizaron proyecciones y se tomaron en cuenta diferentes elementos, como la demanda, diversos tiempos de actividades y días laborables anuales. Considerando esto, no es posible validar los resultados mediante herramientas de estadística inferencial, como pruebas de hipótesis, ya que para la compresión de hilo crudo se presentó un diseño, en el pesado de hilo crudo se expuso la hoja de cálculo y en el VSM se planteó omitir el proceso de desarrollo de fórmula. Esta validación estadística quedaría planteada como trabajo a futuro, al momento de implementar las propuestas.

Controlar

Ayudas visuales para relación de portamaterial-estructura

Las ayudas visuales refuerzan las ideas para hacerlas más claras [10]. Para evitar errores, a cada estructura utilizada en la compresión se le designaría un color al igual que a los portamateriales que son del mismo tipo, de esta manera se tendría una relación, como se muestra en la figura 12. Debido a que en ocasiones los trabajadores comprimen el hilo haciendo presión manualmente para “agilizar” las actividades y no utilizar la máquina compresora, se evaluó que la mejor opción considerando sus ventajas y desventajas, y para poder dar un seguimiento a los lotes que son cargados y pesados en Línea de servicio, se plantea utilizar una lista de verificación, el formato es mostrado en la figura 13.

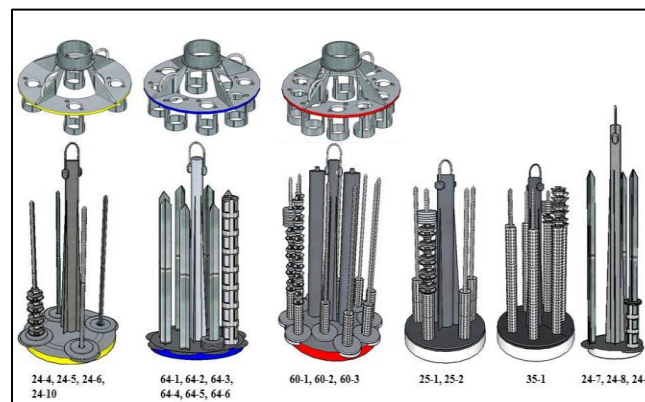


Figura 12 Relación de las estructuras para comprimir y de los portamateriales por medio de colores (elaboración propia).

Lista de verificación para lotes de hilo crudo en Línea de servicio

Fecha: _____
 Orden: _____
 Trabajador: _____
 Turno: _____

Aspectos a evaluar	Si	No
Incluye orden física	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Orden física coincide con la programada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
En caso de ser color claro, ¿El portamaterial está lavado?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Portamaterial corresponde a máquina de teñido	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Portamaterial contiene muestra de hilo del teñido anterior	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Compresión dentro de los niveles adecuados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Número de bobinas coincide con las indicadas en la orden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hilo en buenas condiciones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Observaciones: _____

Figura 13 Lista de verificación para lotes a procesar en Tintorería (elaboración propia).

Pesado de hilo crudo

Un sistema *poka yoke* se refiere al diseño de dispositivos a prueba de errores y olvidos [4]. Por ello, para controlar el pesado de hilo crudo y evitar que falte capturar información dentro de la hoja de cálculo, se plantea utilizar *poka yokes* dentro de la hoja de cálculo, de manera que las celdas se colocaran de color rojo al detectar que falte información, como se muestra en la figura 14. Otro error puede presentarse es si se anota mal el peso desde la báscula digital. Se evaluó que la mejor opción considerando sus ventajas y desventajas, es utilizar un escáner para ingresar los pesos de los lotes como se visualiza en la figura 15.

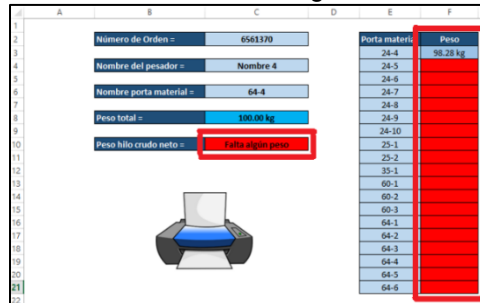


Figura 14 Poya yoke para el ingreso de pesos de portamateriales.



Figura 15 Método visual para el registro de los pesos propuesto.

Eventos kaizen

Para alcanzar el control de las actividades afectadas por una programación masiva se requiere realizar eventos *kaizen*, en los que intervengan equipos de trabajo conformados por todos los departamentos involucrados [1], que prácticamente es gran parte del proceso en general, los departamentos más afectados por el manejo masivo de trabajo son: Planeación de la producción, Programación de la producción, Cargado de hilo crudo, Tintorería y Acabado.

Resultados y discusión

Se desarrollaron 3 propuestas que permitan de disminuir el tiempo de operación:

Comprimido de hilo crudo

Se propone utilizar una estructura que permita comprimir todas las camas llenas de hilo crudo a la vez. Existen 6 tipos de portamateriales, para determinar cuáles son más representativos se realiza una priorización y se determina que si se diseña una estructura para los portamateriales con las siguientes capacidades: 64 bobinas (64-1, 64-2, 64-3, 64-4, 64-5 y 64-6), 24 bobinas (24-4, 24-5, 24-6 y 24-10) y 60 bobinas (60-1, 60-2 y 60-3), se abarcará el 68.2% de los lotes producidos dentro de Línea de servicio, con esto, la actividad de comprimido pasaría de durar 31.91 a 17.77 días por año, lo que reduciría el tiempo de esta actividad en un 44.33%.

Pesado de hilo crudo

Para mejorar la disponibilidad de la báscula en la que se pesa el hilo crudo se propone guardar los pesos de los portamateriales diariamente, de esta manera se elimina la programación en modo tarar. Para lograrlo se requiere modificar el formato actual de la hoja de Excel utilizada para el pesado, el tiempo anual destinado para esta actividad es de 42.54 días, se plantea pesar los portamateriales: una, dos o hasta en tres ocasiones por día.

Si los portamateriales se pesan una vez por día la báscula será utilizada 2.94 días por año, lo que representa una disminución de ocupación de la báscula del 93.09%, si los portamateriales se pesan dos veces por día la báscula será utilizada 5.87 días por año, lo que representa una disminución de ocupación de la báscula del 86.20% y si los portamateriales se pesan tres veces por día la báscula será utilizada 8.81 días por año, lo que representa una disminución de ocupación de la báscula del 79.29%.

Value Stream Mapping

Se desarrolló el VSM del estado futuro que incluye dos cambios principales con respecto al VSM del estado actual:

1) modificar la posición del proceso de Desarrollo de fórmula para disponer de la fórmula del color una vez que se liberen las ordenes de SAP, con esto se excluiría el tiempo de operación de esta actividad que tiene una duración de 18.9 s, también se excluiría el tiempo de los lotes que requieren ajuste de color que representan el 5.1% del total, presentando una duración promedio de 3.14 días. Considerando que se produjeron 89,559 lotes en un año, la suma de los tiempos de espera de los 4,568 lotes en conjunto, se reduciría en 14,343.52 días anualmente.

2) El departamento de Tintorería pretende almacenar los diferentes tipos de materiales de hilo crudo dentro del Buffer, este proyecto no corresponde al trabajo, pero se incluye dentro del VSM del estado futuro, con esto se excluiría el tiempo promedio de Surtido de hilo crudo que es de 0.528 días y pasaría a durar 0.428 días. Considerando que en un año se produjeron 89,559 lotes y que el 85.53% son procesados en Línea de servicio y Unidad de servicio, realizando la conversión, el tiempo de manufactura de este porcentaje de lotes se reduciría en 7,675.42 días durante un año.

Trabajo a futuro

De acuerdo a lo observado durante la realización de este trabajo se recomienda centrar la atención en las siguientes acciones:

Establecer un tiempo de ciclo para trabajar los diferentes lotes en cada una de las áreas, de acuerdo a las características y dimensiones que posea, de esta manera se logrará obtener una referencia para controlar el tiempo de cada uno de los procesos.

Evaluar los diferentes criterios de programación de la producción: primeras entradas primeras salidas, tiempo de procesamientos más corto, fecha de entrega más próxima y tiempo de procesamiento más largo, y elegir el criterio que reduzca en mayor cantidad el tiempo de manufactura total y respetar la programación una vez que se establezca.

Determinar cuáles son los clientes que solicitan pedidos urgentes frecuentemente, de esta manera se pueden establecer medidas que reduzcan la frecuencia de estos, ya que directa o indirectamente afectan a todos los procesos de la empresa.

Reducir o tratar de eliminar el uso de los carritos dentro del área de Línea de servicio, debido a que los llenan de bobinas de hilo crudo tomado de los *ropaks* del *buffer* y posteriormente se llevan hasta donde se encuentra el portamaterial para llenarlos surtirlo de hilo crudo, lo que ocasiona un aumentando de movimientos innecesarios, representando un desperdicio de movimientos y transportes.

Utilizar ayudas visuales que permitan identificar de manera más rápida los materiales que se encuentran dentro del Almacén del hilo crudo, esto se debe a que algunos códigos de hilo crudo son muy similares e incluso se han llegado a surtir materiales que no pertenecen.

Establecer un programa de mantenimiento productivo total para los montacargas utilizados en Almacén de hilo crudo, ya que en ocasiones solo funciona un montacargas, el cual tienen que compartir los surtidores de hilo crudo junto con el recepcionista, por ello se pierden tiempos importantes al surtir el hilo crudo.

Determinar el tiempo para que se lleven a cabo las pláticas y cursos durante la cual se tenga una demanda baja, o buscar coordinarse con el departamento de programación de la producción, ya que algunas veces se realizan pláticas o cursos en horas pico de trabajo, en los cuales deben de asistir una cantidad considerable de trabajadores.

Modificar los ganchos de las grúas que son utilizadas para subir el hilo crudo a las plataformas, debido a que cada vez que se requiere subir algún portamaterial para que sea procesado en la plataforma de Tintorería, se debe de esperar a que algún operador del primer piso realice el enganche manualmente, generando desperdicios de demoras y movimientos innecesarios.

Disminuir los lotes programados para las máquinas de Tintorería que se encuentran en cola, ya que es muy difícil reducir el MLT si algunos lotes tienen hasta un día en cola para esperar a ser procesados dentro del área de Tintorería, aunado a esto se incluye el tiempo para que sea procesado el lote.

Realizar un estudio de designación de cargas de trabajo en los diferentes departamentos, ya que algunos trabajadores tienen designada una carga de trabajo mayor y otros tienen una carga de trabajo menor, por lo que en algunos se ve afectado su rendimiento durante el transcurso del día y otros tienen un tiempo considerable de holgura.

Conclusiones

Mediante el seguimiento de metodología DMAIC se logró identificar los procesos que afectan en mayor medida el indicador de desempeño mediante un VSM del estado actual, se desarrollaron 3 propuestas de mejora: para la actividad de comprimido de hilo crudo, para la actividad de compresión de pesado de hilo crudo y otra para cambiar de posición el área de Desarrollo de fórmula, de manera que la empresa pueda elegir la más conveniente de acuerdo a su criterio. Finalmente se propone utilizar herramientas y técnicas que permitan mantener controlar las propuestas, en caso de que una o más sean llevadas a cabo.

Dentro de cualquier empresa es importante desarrollar la toma de tiempos estándar considerando todas las variables que puedan existir dentro del proceso, ya que estos son la base para determinar si existen mejoras o no, por lo contrario, si los tiempos no son tomados de la manera adecuada no serán confiables para utilizarlos como referencia.

La comunicación entre todos los departamentos es primordial, si existe una buena comunicación no habrá inconveniente cuando se realicen cambios o actualizaciones dentro de la empresa ya que todos tendrán conocimiento de ello, como repercusión se podría trabajar con información obsoleta.

Al realizar cualquier proyecto es necesario recorrer el área de trabajo físicamente, retroalimentarse con la experiencia de los trabajadores y es importante estudiar a fondo el panorama, ya que, aunque se cuenta con una gran cantidad de información con la que se pueda trabajar directamente sobre el proyecto, no se considerarían varios aspectos que pudieran ser claves para alcanzar mejores resultados.

Es importante utilizar herramientas que permitan visualizar todo el panorama del área de trabajo como son los diagramas de flujo y dibujos del área de trabajo, de lo contrario al trabajar dentro del área puede existir una gran cantidad de actividades sobre las cuales se puede tener ideas vagas con respecto a lo que realmente ocurre dentro del proceso.

Referencias

- [1] Alukal, G. & Manos, A. (2006). *Lean Kaizen, A Simplified Approach to Process Improvements*. United States of America: American Society for Quality.
- [2] Cabrera, R. (2013). *Lean Six Sigma TOC Simplificado PYMES*. México: RCCC.
- [3] Furterer, S. (2009). *Lean Six Sigma in service*. United States of America: Taylor & Francis Group.
- [4] Gutiérrez, H. & Vara, R. D. (2009). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- [5] Hernández, L. (2015). *Reducción del tiempo de manufactura de una empresa textil de la región centro del estado de Veracruz*. Orizaba: Instituto Tecnológico de Orizaba. Maestría en Ingeniería Industrial.
- [6] Lee, Q. & Brad, S. (2006). *Value Stream and Process Mapping*. Canadá: Editorial Enna Products Corporation.
- [7] Marchewka's, J. (2016). *Information Technology Project Management*. United States of America: WILEY.
- [8] Villalobos, B. (2014). *Reducción de los tiempos de entrega en la línea de Producción de la empresa COATS*. Orizaba: Instituto Tecnológico de Orizaba. Maestría en Ingeniería Industrial.
- [9] Villanueva, E. (2014). *La productividad en el mantenimiento industrial*. México: Grupo Editorial Patria.
- [10] Whetten, D., & Cameron, K. (2004). *Desarrollo de habilidades directivas*. México: PEARSON Educación.

Plan de producción para la flor de azucena en el municipio de Teziutlán Puebla.

V. Millán Tinoco^{1*}, M. Martínez Demetrio², G. Aldazaba Jácome³.

¹División de Ingeniería en Gestión Empresarial. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. Fracción I y II s/n, Aire Libre, Teziutlán. C.P. 73960, Puebla.

²Departamento de Ciencias Básicas. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. Fracción I y II s/n, Aire Libre, Teziutlán. C.P. 73960, Puebla.

³División de Ingeniería en Gestión Empresarial. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. Fracción I y II s/n, Aire Libre, Teziutlán. C.P. 73960, Puebla.

victor.mt@teziutlan.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

El presente estudio tiene como propósito mostrar un plan de producción para la flor de azucena en el municipio de Teziutlán, presentando las condiciones correctas para el cuidado del bulbo y la flor, mediante diagramas que permiten especificar las acciones a realizar en el proceso de siembra, extracción y limpieza del bulbo, se especifican los tiempos necesarios para realizar dichas acciones con la finalidad de tener la máxima eficiencia en la producción de la flor. Se realizó una planificación de requerimiento de materiales (MRP) y diagramas de flujo que permitan el control de la producción, para poder detectar deficiencias y los resultados deseados. Para ello, los diagramas y el MRP permitirán tomar las mejores decisiones y tiempos oportunos reduciendo las probabilidades de defectos en la producción. Se realizó una investigación de tipo cualitativa con una encuesta de tipo cerrada obteniendo como resultado los tiempos para realizar cada actividad de producción.

Palabras clave: sistema, producción, diagramas, eficiencia.

Abstract

The purpose of this study is to show a production plan for the lily flower in the municipality of Teziutlán, presenting the correct conditions for the care of the bulb and the flower, through diagrams that allow specifying the actions to be carried out in the planting process. extraction and cleaning of the bulb, the necessary times are specified to carry out said actions in order to have the maximum efficiency in the production of the flower. A material requirement planning (MRP) and flowcharts that allow production control were carried out, in order to detect deficiencies and the desired results. For this, the diagrams and the MRP will allow making the best decisions and opportune times, reducing the probability of defects in production. Qualitative research was carried out with a closed type survey, obtaining as a result the times to carry out each production activity.

Key words: system, production, diagrams, efficiency.

Introducción

El proceso para el cultivo de la flor de azucena está constituido por una serie de pasos meticulosos que se deben llevar a cabo para que los bulbos y la planta se desarrollen en un ambiente adecuado, es por ello que se propone una guía que será de utilidad para el cuidado de flores y bulbillos de *lilium candidum*, nombre científico de dicha flor. Dicha guía tiene como finalidad especificar aspectos que van desde el cuidado de los bulbos hasta la obtención de la flor, es decir, cómo deben ser las condiciones de cuidado y almacenamiento una vez que se corta la flor y es resguardada para su venta.[1] La floricultura nacional es una actividad que se realiza principalmente en 13 estados, de los cuales se pueden destacar a Morelos, Puebla y la Ciudad de México quienes se colocan como unos de los principales productores de flores. Dicha actividad se encarga de generar más de 250 mil

empleos considerados directos y casi un millón de forma indirectos. Según Sader, dentro de las principales flores cultivadas, por valor económico, se encuentran la rosa y liliom (azucena); mientras que, por superficie, están el crisantemo y gladiola.[2] La demanda de flor aumenta durante las fechas festivas tales como el 10 de mayo (celebración a las madres) y 14 de febrero, celebraciones muy significativas para la población mexicana, estas son fechas en las cuales las personas se ven más atraídas a hacer compra de flores por que se consideran que son para momentos especiales.

La producción de la flor de azucena en el municipio de Teziutlán es una actividad económica que se realiza a pequeña escala y que cuenta con áreas de oportunidad, debido a las características tan peculiares de la flor la hacen muy atractiva para los consumidores, dicha flor es de temporada, la cual florece en primavera y el tiempo óptimo para realizar la extracción y posteriormente la siembra de bulbos es durante el verano. Detectar la forma correcta para el cuidado de los bulbos es fundamental para obtener flores con las condiciones adecuadas y ser atractiva ante los ojos de los consumidores. [3] Los productores de la flor de azucena en el municipio de Teziutlán se encuentran distribuidos en las distintas localidades que lo conforman, entre ellas se encuentra la junta auxiliar de San Sebastián y San Juan Acateno, los cuales han sembrado y cosechado la flor de forma empírica.[4] Una estrategia de producción para la flor de los pequeños productores en este municipio es fundamental para que les permita lograr sus objetivos de vender la mayor cantidad de flor producida, dichas estrategias deben ser claras y congruentes para que puedan ser cumplidas con mayor seguridad.[5]

Metodología

De acuerdo al problema planteado, la investigación de tipo descriptiva es la más conveniente para este análisis, ya que este tipo de investigación se encarga de hacer una descripción de la población, situación o fenómeno del cual se centrará el estudio, puesto que se plantea conocer cuál es el proceso de producción de la flor de azucena, mediante este tipo de investigación se espera recabar la información necesaria, para detectar las acciones y procesos que se deben seguir.[6] Este tipo de investigación se encarga de proporcionar información referente al qué, cómo, cuándo y dónde con respecto al problema de investigación. Además, las formas más comunes de obtener información son mediante la observación y encuesta.[7] Por lo tanto, el diseño de investigación que será utilizado es el transversal puesto que se encarga de analizar datos de variables recopiladas, así como de realizar una exploración inicial en un momento específico, recibe también el nombre transaccional.

Selección de la muestra

Para seleccionar a la muestra se realizó un muestreo no probabilístico el cual permitió elegir a los productores y poder obtener información necesaria para diseñar el plan de producción. Para poder llevar a cabo la selección se tomó en cuenta como población total a 100 productores de flor de azucena en el municipio de Teziutlán que cuentan con una edad de entre 30 a 45 años de edad. Aplicando la siguiente fórmula, donde se utiliza la N que hace referencia a el tamaño de la poblacional que es de 100 en este caso, P es la probabilidad de ocurrencia que se utiliza un valor de 0.5, e es el margen de error donde se considera 0.12 y Z es el nivel de confianza que es de un 95%, dando como resultado 40 encuestas que fueron aplicadas.

$$N = \frac{\frac{Z^2 * p(1 - p)}{e^2}}{1 + \frac{Z^2 * p(1 - p)}{e^2 N}} = \frac{\frac{1.96^2 * 0.5(1 - 0.5)}{(0.12)^2}}{1 + \frac{1.96^2 * 0.5(1 - 0.5)}{0.12^2 * 100}} = 40 \text{ encuestas}$$

Para la aplicación del instrumento se tomaron en cuenta a 40 personas con edades de 30 a 40 años que son hombres y mujeres los cuales respondieron la encuesta que recibe el nombre de "Detectar a los pequeños productores". Posteriormente se tomaron solo a 30 de los 40 encuestados para aplicarles una segunda encuesta la cual tiene como finalidad "Conocer el proceso de producción de la flor de azucena". Las preguntas son de tipo cerrada en las cuales muestran las respuestas de los encuestados, la forma correcta de llevar el proceso para la producción de la flor. El instrumento que se utilizó es la encuesta de tipo cerrada, en la cual los productores de flor encuestados tuvieron que elegir una de las opciones que se les proporcionaron, se tomó en consideración este tipo de instrumento debido a que permite obtener resultados uniformes y más fáciles de cuantificar.

Preparación de datos

Se analizó en las encuestas aplicadas las preguntas que fueron contestadas por los sujetos de estudio, solo una encuesta aplicada fue detectada como incompleta durante el proceso de recolección, la cual fue descartada debido a que al estar incompleta proporcionaba un aporte insuficiente, por lo tanto, se reemplaza dicha encuesta. Posteriormente se procedió a sintetizar los resultados mediante gráficas para que la información fuera más fácil de procesar y de comprender. Cuando se confirmó que las encuestas aplicadas no contaban con anomalías, se prosiguió a ordenar los datos obtenidos. Para ello se realizaron gráficas que permitieron simplificar la información y así proponer un plan de producción acudado. Se realizó un conteo de cada respuesta y se agrupó en el lugar correspondiente, por ejemplo, en la pregunta uno se busca conocer la fecha para la extracción de bulbos y se proporcionaron 3 opciones (meses del año) entonces se seleccionaron y agruparon las respuestas, así es como se realizó la selección de información con cada una de las preguntas que conforman la encuesta, es importante mencionar que se analizaron las respuestas para verificar que los sujetos de estudio hayan comprendido adecuadamente cada una de las preguntas y en caso de no ser así tomar medidas con respecto a esas situación. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la figura 1.

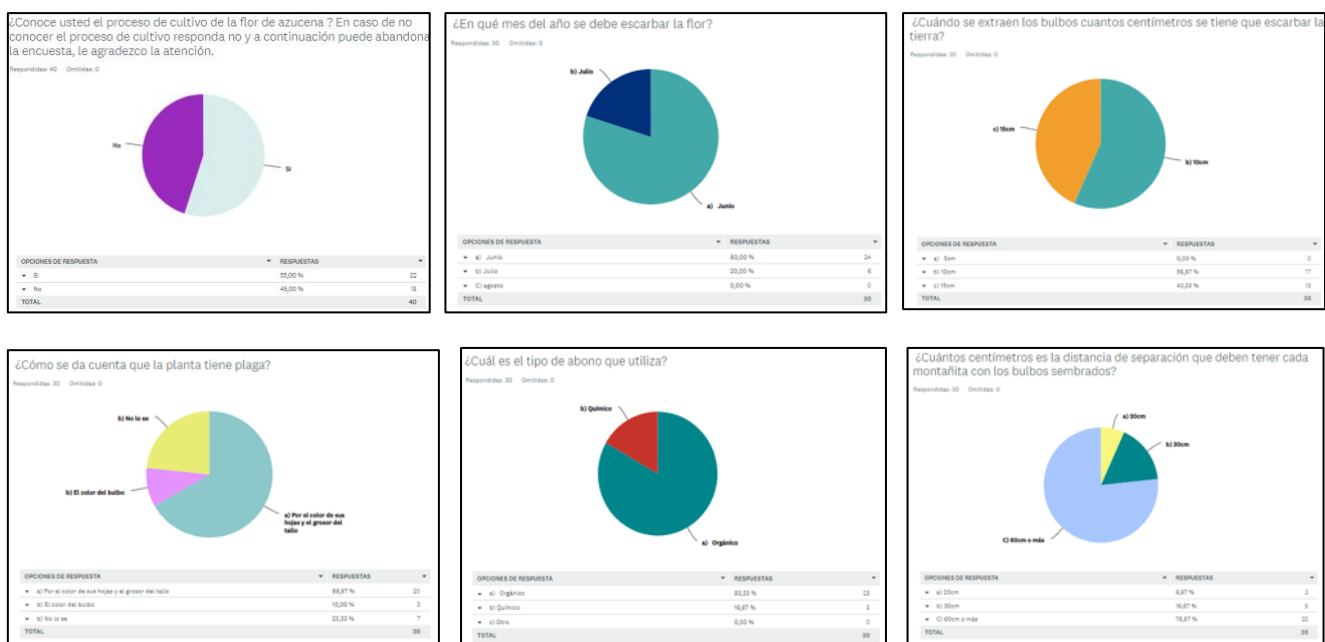


Figura 1. Gráficas de resultados de encuesta

Resultados y discusión

El plan de producción permitirá a los productores detallar los métodos de producción adecuados para la flor, para posteriormente ser vendidas, el cual permite tener un funcionamiento eficaz de las operaciones al momento de aplicarlo, este plan les dará ventajas competitivas y sobre todo mejorará los procesos de producción. Para este caso el plan de producción tiene como propósito facilitar el proceso de producción de la flor de azucena, el cual busca facilitar la información a los pequeños productores del municipio de Teziutlán, permitiendo que los tiempos de producción se realicen de forma estandarizada los cuales serán de utilidad para optimizar las actividades, así como detectar imprevistos obteniendo mejores resultados.

Con la elaboración del plano, como se muestra en la figura 2, se tendrá mejor organización, para ello el almacén contará con área de carga y descarga, la temperatura con la que debe contar dicho almacén debe ser de 20 a 23 °C, con un área de inspección de bulbos ya que se debe verificar que los bulbos se encuentren en óptimas condiciones para evitar problemas de mala calidad. Una vez que los bulbos hayan pasado exitosamente las inspecciones deberán ser trasladados a los estantes. El almacén de flores permitirá tener un mejor control puesto que cuenta con área de carga y descarga para que posteriormente sea trasladado a el área de inspección y clasificación en donde se revisará que las flores cuenten con las características de calidad necesarias y después

se clasificaron por el tamaño de cada vara y se trasladan a el área de resguardo en donde serán colocadas en recipientes con agua para evitar que se marchiten y por último pasen por el área de carga para dirigirse al cliente.

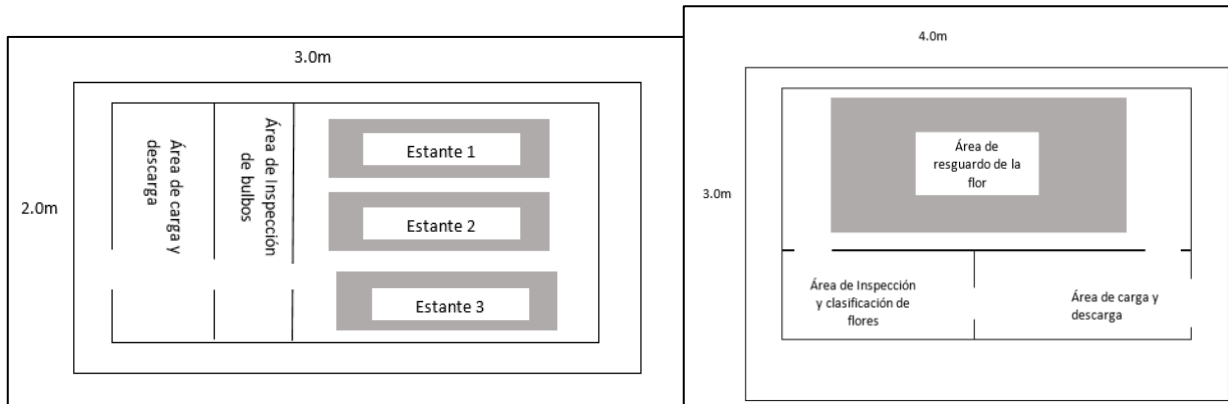


Figura 2. Planos de almacén para bulbos y flor

Materia prima, herramientas e insumos (lista de materiales)

A continuación, se presentan los materiales para producir la flor de azucena, como materia prima se considera a los bulbos de la flor que reciben el nombre de longiflorum y como insumos se tomará en cuenta el abono de tipo orgánico, así como las herramientas necesarias para desarrollar las distintas actividades:

Materia prima:

- Bulbos de azucena longiflorum

Insumos:

- Abono orgánico

Herramientas:

- Pala jardinera
- Cuchillo
- Cajas agrícolas de plástico de 56 x 36 x 25 cm
- Azadón

Planificación de requerimiento de materiales (MRP)

Con la finalidad de mantener un inventario adecuado, no tener excesos en las materias primas y tener los recursos necesarios para la producción de flor de azucena es indispensable tener un control de insumos y materias primas para cumplir con los requerimientos exactos de los clientes, eliminando mudas y desperdicios en el sistema productivo de la flor. Se implementa la técnica de un MRP para el control de la producción. Para poder realizar el MRP se parte de una lista de materiales como se muestra en la figura 3, el cual consta de tres niveles y muestra gráficamente los requerimientos y cantidades para producir la flor.

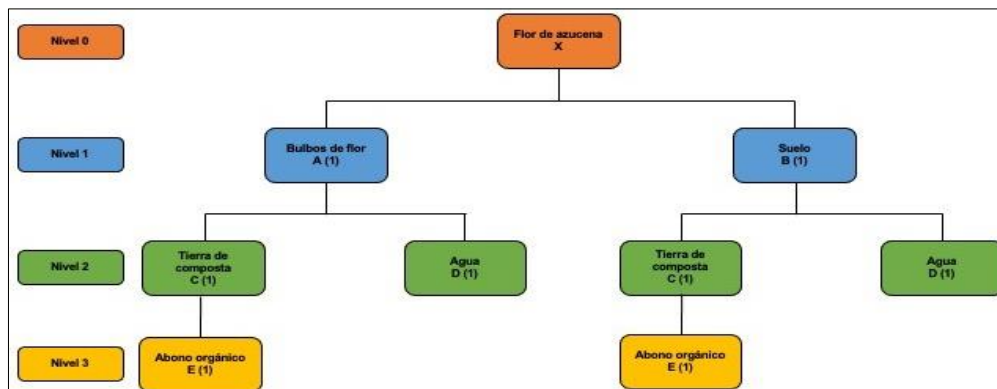


Figura 3. Lista de materiales

Se elabora el plan maestro de producción (MPS) seguido de la planificación y requerimiento de materiales (MRP) considerando la capacidad productiva promedio de las 40 personas que se sometieron a esta investigación, la tabla 1 muestra la planeación de 10 semanas donde existe mayor demanda de flor, entre los meses de abril a junio y de septiembre a noviembre.

Tabla 1. Plan maestro de producción y planificación de requerimiento de materiales

ELEMENTO X		TAMAÑO DEL LOTE: LXL		COMP. PADRE								
DISPONIBILIDAD:	0	LEAD TIME: 1		CANTI. DE COMP.								
SEMANA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
REQUERIMIENTOS BRUTOS		50	50	50	50	50	50	50	40	40	30	
RECEPCIONES PROGRAMADAS												
PROYECCIÓN DE DISPONIBILIDAD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
REQUERIMIENTOS NETOS		50	50	50	50	50	50	50	40	40	30	
PEDIDO NETO		50	50	50	50	50	50	50	40	40	30	
LIBERACIÓN PLANIFICADA DE PEDIDO	50	50	50	50	50	50	50	40	40	30		

ELEMENTO A		TAMAÑO DEL LOTE: 80		COMP. PADRE: X								
DISPONIBILIDAD:	50	LEAD TIME: 1		CANTI. DE COMP.: 1								
SEMANA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
REQUERIMIENTOS BRUTOS		50	50	50	50	50	50	50	40	40	30	
RECEPCIONES PROGRAMADAS												
PROYECCIÓN DE DISPONIBILIDAD	50	0	30	60	10	40	70	20	60	20	70	
REQUERIMIENTOS NETOS			50	20		40	10		20		10	
PEDIDO NETO			80	80		80	80		80		80	
LIBERACIÓN PLANIFICADA DE PEDIDO	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80		

ELEMENTO B		TAMAÑO DEL LOTE: 50		COMP. PADRE: X								
DISPONIBILIDAD:	50	LEAD TIME: 2		CANTI. DE COMP. 1								
SEMANA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
REQUERIMIENTOS BRUTOS		50	50	50	50	50	50	50	40	40	30	
RECEPCIONES PROGRAMADAS												
PROYECCIÓN DE DISPONIBILIDAD	50	0	0	0	0	0	0	0	10	20	40	
REQUERIMIENTOS NETOS			50	50	50	50	50	50	40	30	10	
PEDIDO NETO			50	50	50	50	50	50	50	50	50	
LIBERACIÓN PLANIFICADA DE PEDIDO	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50		

ELEMENTO C		TAMAÑO DEL LOTE: 60		COMP. PADRE: A / B								
DISPONIBILIDAD:	260	LEAD TIME: 2		CANTI. DE COMP. 1 1 RECEP. PROGRAM.: SEM 2 (300)								
SEMANA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
REQUERIMIENTOS BRUTOS		130	130	50	130	130	50	130	50	130	0	
RECEPCIONES PROGRAMADAS			300									
PROYECCIÓN DE DISPONIBILIDAD	260	130	300	250	120	50	0	50	0	50	50	
REQUERIMIENTOS NETOS						10		130		130		
PEDIDO NETO						60		180		180		
LIBERACIÓN PLANIFICADA DE PEDIDO				60		180		180				

ELEMENTO D		TAMAÑO DEL LOTE: 30		COMP. PADRE: A / B								
DISPONIBILIDAD:	150	LEAD TIME: 1		CANTI. DE COMP. 1 1								
SEMANA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
REQUERIMIENTOS BRUTOS		130	130	50	130	130	50	130	50	130	0	
RECEPCIONES PROGRAMADAS												
PROYECCIÓN DE DISPONIBILIDAD	150	20	10	20	10	0	10	0	10	0	0	
REQUERIMIENTOS NETOS			110	40	110	120	50	120	50	120		
PEDIDO NETO			120	60	120	120	60	120	60	120		
LIBERACIÓN PLANIFICADA DE PEDIDO		120	60	120	120	60	120	60	120			

ELEMENTO E		TAMAÑO DEL LOTE: 50		COMP. PADRE: C								
DISPONIBILIDAD:	80	LEAD TIME: 2		CANTI. DE COMP. 1								
SEMANA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
REQUERIMIENTOS BRUTOS		60	0	180	0	180	0	0	0	0	0	
RECEPCIONES PROGRAMADAS												
PROYECCIÓN DE DISPONIBILIDAD	80	20	20	40	40	10	10	10	10	10	10	
REQUERIMIENTOS NETOS				160		140						
PEDIDO NETO				200		150						
LIBERACIÓN PLANIFICADA DE PEDIDO		200		150								

Tomando en cuenta la demanda promedio en los periodos mencionados se elabora el MRP repartiendo la demanda mensual por semana, para cada semana hay una demanda de 50 varas de flor, cada vara produce en promedio 4 flores, se realiza un plan maestro de producción seguido del MRP que muestra los requerimientos brutos de cada elemento que conforman al producto, el elemento X en la tabla 1 es el producto final, las recepciones programadas serán únicamente para la tierra de composta cuando los productores no puedan producirla por la escases de tiempo. El lead time para cada elemento está entre 1 y 2 semanas. Los requerimientos brutos de cada elemento están en función de la lista de materiales. Para cada elemento existe cierta disponibilidad la cual es considerada al momento de hacer la explosión de los materiales, la liberación planificada es la cantidad de unidades que se deben solicitar para poder sembrar la flor. El MRP favorecerá el incremento de la productividad con un adecuado control de los recursos que se necesitan, los productores realizan la venta de la flor por ramos de 5 varas. Esta planificación mejorará la velocidad de entrega una vez que el producto este listo para su venta, disminuyendo los tiempos de espera, lo que provoca que la flor se marchite, de igual manera, facilitará los aspectos financieros para la producción, reduciendo al máximo la inversión. Si la demanda crece y los productores tienen la capacidad de producción se hace un nuevo cálculo del MRP.

Diagramas de procesos para la producción

El diagrama de procesos representa gráficamente las actividades a realizar durante la elaboración de un producto o servicio, el cual nos permite estudiar las múltiples operaciones para detectar potenciales cuellos de botella y así dar soluciones de tal forma que se pueda cumplir con los requerimientos del cliente.[8]

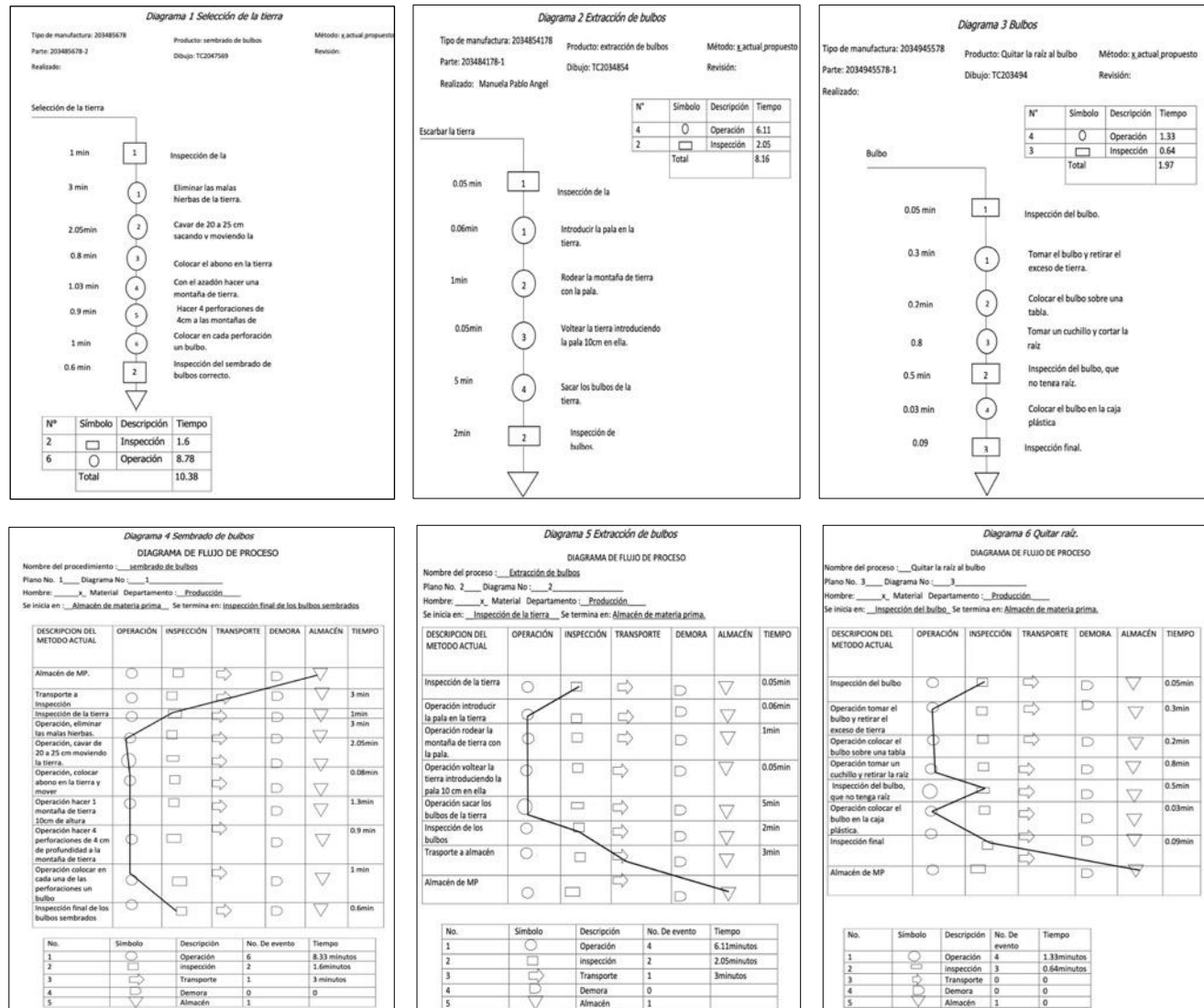


Figura 4. Diagramas del proceso productivo

Para la producción de la flor se consideran fundamentales los diagramas para la cosecha de buena calidad y que cumpla con las necesidades de los consumidores. En la figura 4, están enumerados los diagramas del uno al cinco, en el diagrama 1, el tiempo estimado para realizar el sembrado de 4 bulbos por montaña de tierra es de 10.38 minutos, para realizar todas las operaciones se consideran 8.78 minutos y para realizar la inspección se considera 1.6 siendo un tiempo óptimo para realizar esta actividad. En el diagrama 2, el proceso para llevar a cabo la extracción de bulbos tiene una duración de 8.16 minutos por cada montaña de tierra, por lo tanto, el tiempo de operación es de 6.11 minutos y el tiempo de inspección es de 2.05 minutos. Cabe mencionar que este procedimiento se aplicará para todas las montañas donde se siembren bulbos. El diagrama 3, realizar este procedimiento el tiempo estimado en el diagrama es de 1.97 minutos por cada bulbo, debido a que para realizar las operaciones se toma un tiempo de 1.33 minutos y para realizar cada inspección se consideran 0.64 minutos. En este procedimiento se contemplan realizar 4 operaciones y 3 inspecciones las cuales permitirán un mejor resultado.

En el diagrama 4, el tiempo requerido para el sembrado de bulbos es de 12 minutos con 93 segundos, se realizan 6 operaciones, 2 inspecciones y una de transporte. Esto con la finalidad de realizar la actividad en el mejor tiempo posible, podemos observar que no se tiene ninguna demora en el transcurso de toda la actividad. En el diagrama 5, la extracción de bulbos requiere un tiempo de 11 minutos con 16 segundos, esto debido a que se consideran un total de 6.11 minutos para realizar 4 operaciones y 2.05 minutos para 2 inspecciones de 3 minutos. Finalmente, en el diagrama 6, para realizar la actividad de quitar la raíz a un bulbo el tiempo estimado es de 1 minuto con 97 segundos, en donde se contemplan 4 operaciones que ocupan un tiempo de 1 minuto con 33 segundos, 3 inspecciones que toman en total 64 segundos ser realizadas.

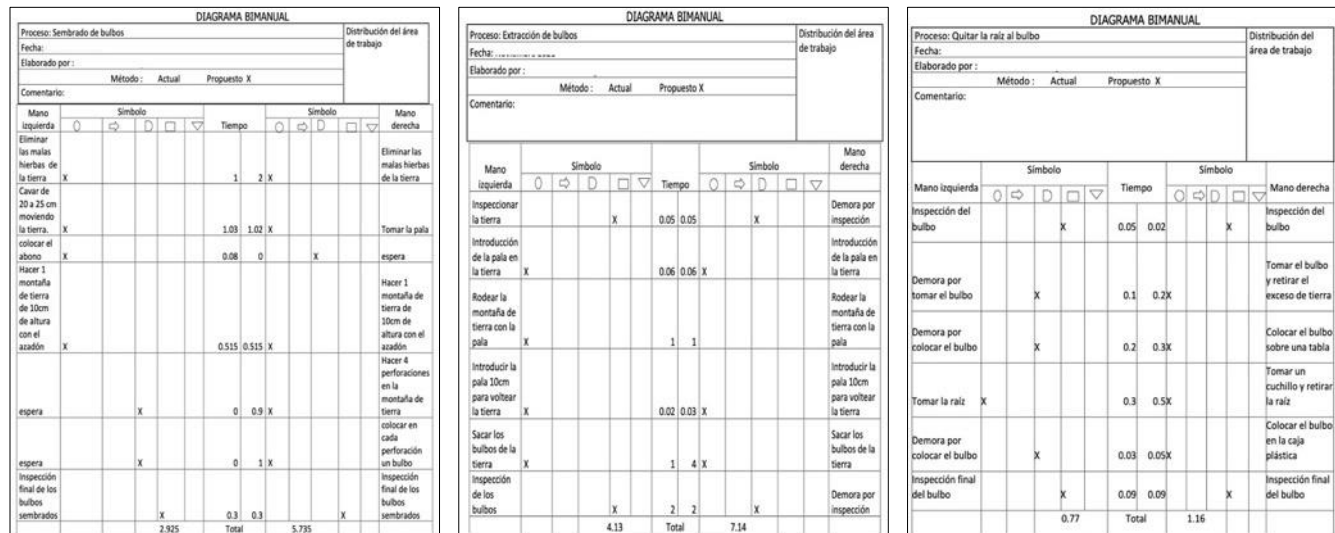


Figura 5. Diagrama bimanual del proceso

En el diagrama bimanual, como se muestra en la figura 5, se describen las actividades que debe realizar cada mano, se consideran los tiempos para realizar cada actividad, como se muestra, la mano izquierda requiere de 2.925 minutos mientras que la mano derecha requiere de 5.735 minutos. El tiempo estimado para realizar la actividad para la mano izquierda es de 4 minutos con 13 segundos y para la mano derecha es de 7 minutos con 14 segundos, así como también se muestra lo que debe realizar cada mano ya sea una operación, inspección, demora, transporte o almacén. Para quitar la raíz del bulbo se considera un tiempo total de 1 minuto con 93 segundos en donde la mano derecha toma un tiempo de 1 minuto con 16 segundos mientras que la mano izquierda ocupa 77 segundos esto debido a que se encuentra el mayor tiempo en demora.

Los diagramas permitirán a los productores tener mayor control de calidad en la materia prima, cuando ésta llegue, lo primero que se debe realizar es una inspección para verificar que cumpla con las características que se le especificó al proveedor, en caso de no contar con las cualidades requeridas se rechaza y regresa a el proveedor. En caso de ser aceptada la materia prima se procede a guardar dentro del almacén. Cuando llega la flor a el almacén se procede a realizar una clasificación, para que se inspeccione y tomar la decisión que, si debe o no guardarse y ser llevada al cliente, en caso de no ser aceptada la flor se debe notificar el motivo y de esa forma se espera obtener un mejor con control.

Tabla 2. Costos de producción

	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Total
Materia Prima	Bulbos	384	1 Bulbo	6	2304
	Total				2304
Mano de obra directa	Escarbar y corte de raíz	2	Día	150	300
	Sembrado de bulbos	1	Día	150	150
	Limpieza y aplicación de abono	1	Día	150	150
	Corte y clasificación de la flor	2	Día	150	300
	Total				900
Insumos	Abono	30	1 kg	15	450
Costos de producción			MP + MOD+ Insumos		3654

En la tabla 2 se presenta la información de los datos a considerar para obtener el costo de producción. En la cual se contemplan 384 bulbos como materia prima, los cuales tiene un precio de \$6 cada bulbo, dando un total de \$2,304, para la mano de obra se tomó en consideración de uno a dos personas dependiendo la actividad que realicen que tendrán un sueldo de \$150 por día respectivamente, para cada acción especificada en la tabla les tomará un día, es por ello que cada acción da un total de \$150 a \$300 y sumando todas las acciones a realizar se obtiene un total de mano de obra directa de \$900. En los insumos solo se tomó en consideración el abono orgánico el cual tiene un precio de \$15 por kilogramo, para ello se utilizarán 30kg resultando un total de \$450, cuando ya se han obtenido los datos anteriores se procede a realizar el cálculo del costo de producción en donde se aplica la siguiente fórmula.

Tabla 3. Precio de venta

Cantidad de bulbos	Botones por tallo	Total de botones	Docena de botones	Costo de producción		Margen de utilidad 10%
384	4	1536	128	3654	28.5	2.9
Precio de venta						31.4

Para calcular el precio de venta, como se muestra en la tabla 3, se tomó en consideración que de los 384 bulbos cada uno al brotarle el tallo este tiene 4 botones de flor en promedio, lo cual da como resultado 1,536 botones, posteriormente se procedió a dividir los 1,536 botones entre doce porque la flor de azucena se vende por docena dando 128 docenas las cuales se dividen entre el costo de producción que son \$3,654 , dando como resultado \$28.9 por docena posteriormente se le suma el margen de utilidad que se desea tener, en este caso se usó una margen del 10%, obteniendo así un precio de venta de \$31.4 por docena.

Política para proveedores

A través de la política se pretende tener un mejor control y por supuesto una buena relación con los proveedores, es por ello que a continuación se presentan dichas políticas:

- Seleccionar a proveedores de forma clara y concisa, que cuente con materiales de calidad y productos adquiridos.
- Considerará aquellos proveedores que mediante un contrato permitan el cumplimiento de la entrega de materiales de forma puntual.
- Mediante un contrato establecer con los proveedores que, en caso de no cumplirse las características de calidad establecidas, se realizará la devolución de materiales.
- Ser puntuales en el los tiempos y la forma de pago, que se estipulen en el contrato.

Trabajo a futuro

Este proyecto dio inicio tomando en cuenta aspectos relacionados con el proceso de producción de la flor de azucena, brindando una mejora en este. Como trabajo a futuro se considera lo siguiente:

Realizar la inspección al llegar la materia prima (en este caso el bulbo) es fundamental para detectar la aparición de plagas, por lo tanto, se debe realizar dicha inspección de manera minuciosa y no se debe omitir este procedimiento. Una vez que se ha detectado plaga o enfermedad en el bulbo o la flor, sería importante llevar a cabo una inspección la detección temprana de plagas o enfermedades que más amenazan a la flor y al bulbo.

Cuando la flor no cuente con las características necesarias y no sea aceptada dentro del almacén, podría considerarse llevar un registro que permita detectar si los defectos se repiten de forma constante y así poder tomar acciones al respecto.

Conclusiones

Mediante esta investigación se pudieron identificar las condiciones necesarias para el cuidado de la flor de azucena, las cuales permitirán una producción de la flor de buena calidad al momento de aplicar los métodos indicados. Identificar a los pequeños productores fue un proceso que requirió de tiempo, para ello se realizó una

encuesta, la cual tenía como principal objetivo ayudar a identificar a los pequeños productores. Tener información precisa que brindaron los productores mediante la encuesta, permitió desarrollar de una forma más completa la investigación, pues gracias a ello se pudieron elaborar los distintos diagramas de procesos, los planos del almacén y la propuesta para la planeación y requerimiento de materiales. Además de obtener información con respecto al procedimiento para la siembra de bulbos, extracción de bulbos y limpieza de los bulbos extraídos, se pudo identificar la temporada exacta para la extracción de los bulbos que, en su mayoría, los pequeños productores lo realizan en el mes de junio y procedían a esperar unos días para realizar la siembra y así poder realizar el corte de flor entre los meses de abril y mayo.

Referencias

- [1] C., Antony Humber. Planeación y control de recursos de producción. Ciudad de México, Hidalgo, México, 2017.
- [2] N. G. Fraizer . ADMINISTRACION DE PRODUCCION Y OPERACIONES . En N. G. Fraizer, ADMINISTRACIÓN DE PRODUCCION Y OPERACIONES (pág. 562). México, D.F.: THOMSON, 2016.
- [3] B. R. Heizer, ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN. México: PEARSON, 2019.
- [4] S. d. Rural. Gobierno de México. Obtenido de Gobierno de México: https://www.gob.mx/agricultura/articulos/que-es-y-para-que-sirve-elfertilizante?_ga=2.69679120.1058565077.1633060179-376757195.1633060179 . , (19 de Agosto de 2019).
- [5] D. SADER,. Gobierno de México. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/agricultura/jalisco/prensa/se-alistan-productores-nacionales-para-atender-demanda-de-flores-por-14-de-febrero-234818?idiom=es>. 13 de febrero de 2020
- [6] L. Velásquez. Tras 20 años de éxito, floricultura mexiquense en riesgo. Tras 20 años de éxito, floricultura mexiquense en riesgo, pág. 1.31 de Agosto de 2020
- [7] H. G. Pulido, Calidad total y productividad. En H. G. Pulido, Calidad total y productividad (pág. 20). México, D.F: Mc Graw Hill. 2018.
- [8] México, L. I. (03 de Abril de 2019). Equipartes Agrícolas. Obtenido de Equipartes Agrícolas: <http://www.equipartes.com.mx/node/1505>. 2020.

Optimización por Atributos Clasificados del Proceso de Laminado por Termofusión

N. Montalvo Romero¹, A. Montiel Rosales^{1*}, L. E. García Santamaría¹, E. Fernández Echeverría²

¹Laboratorio de Logística y Sustentabilidad en Economías Emergentes, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/ITS de Misantla, Km. 1.8 Carretera a Loma del Cojolite C.P. 93821, Misantla, Veracruz-México,

naiemontalvor@gmail.com; ar.chimedes@hotmail.com; legarcias@itsm.edu.mx;

²Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/ITS de Zacapoaxtla, Ctra. Acuaco-Zacapoaxtla Km. 8, Col. Totoltepec C.P. 73680, Zacapoaxtla, Puebla-México, ii_efernandez@hotmail.com

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

La unión de tela-espuma de poliuretano para el sector automotriz mediante soldadura por alta frecuencia, es una operación compleja; debido a que por las características propias de los materiales, alcanzar la calidad de la unión óptima es un reto. Ahora bien, dada la exigencia de la cadena de valor automotriz y los altos estándares de calidad que el sector exige a los proveedores, la calidad en el pegado de la tela es un criterio preponderante. Sin embargo, medir la calidad del pegado no es una actividad sencilla, se requiere de personal y equipo especializado, situación que padecen frecuentemente las industrias. Este artículo aborda la optimización de los parámetros del laminado tela-espuma desde el análisis de atributos clasificados, empleando el diseño de experimentos de Taguchi con un diseño $L_8(2)^7$. El análisis, determina los valores óptimos del pegado de la tela-espuma; permitiendo disminuir las quejas y devoluciones en un 17.5%.

Palabras clave: Diseño de Experimentos, Taguchi, Análisis de Atributos Clasificados, Termofusión.

Abstract

The union of polyurethane fabric-foam for the automotive sector by high-frequency welding is a complex operation; due to the material's characteristics, achieving the optimal union's quality is challenging. However, given the demands of the automotive value chain and the high-quality standards that the sector demands from suppliers, quality in the gluing of the fabric is a preponderant criterion. However, measuring the gluing quality is not simple; it requires specialized personnel and equipment, a situation that industries often suffer. This article addresses optimizing the parameters of the fabric-foam laminate from the analysis of classified attributes, using the design of Taguchi experiments with an $L_8(2)^7$ design. The analysis determines the optimal values of the gluing of the fabric foam, allowing it to reduce complaints and returns by 17.5%.

Keywords: Design of Experiments, Taguchi, Classified Attribute Analysis, Thermofusion.

Introducción

El sector automotriz, requiere de tela-espuma como materia prima en la manufactura de autopartes interiores, e.g., para tapicería, paneles de puertas. La tela-espuma, es un producto derivado de la operación del pegado de la tela con la espuma de poliuretano, también conocido como laminado; este proceso se puede desarrollar por fuego directo o por termofusión. Es posible pegar tela con espuma y, tela-espuma y tela, conocidos como procesos de un paso y de dos pasos, respectivamente.

El proceso de termofusión requiere el uso de adhesivos, en comparación con el proceso por flama, lo que lo hace el proceso preferido. La termofusión, es la unión térmica de telas colocadas en seco, colocadas en húmedo y colocadas por hilado, así como en telas multicapa compuestas; siempre en presencia de polímero termoplástico [1].

El proceso de termofusión, ha sido aplicado en la unión de materiales; e.g., en [2], se preparó material textil de alta permeabilidad, buena resistencia mecánica, capaz de atrapar partículas sub-micrónicas y gases de sustancias orgánicas; mientras que, en [3], se presenta un método que combina la unión térmica de una película de poliuretano termoplástico y, su posterior aplicación a la máquina de formación al vacío para generar una forma tridimensional; también, se combinaron una capa intermedia no tejida de Kevlar/LMPET perforada con aguja y dos cubiertas de PTU, para formar compuestos laminados [4].

El pegado de textil a poliuretano por termofusión, es un proceso complejo. Se requiere un control adecuado entre las variables involucradas —velocidad, pegamento, calibración, operador y temperatura—; ya que, e.g., una velocidad reducida genera que se quemen los materiales, mientras que una velocidad superior ocasiona que los materiales no logren unirse y presenten desprendimiento. La calidad de la unión de los materiales está en función de los parámetros de los factores que influyen en el pegado. Entonces, la determinación idónea de las variables que interactúan en la calidad del pegado es un estudio de interés.

La determinación de la calidad en la unión es una métrica compleja de establecer, se requiere de personal y equipo especializado. Desafortunadamente, en ocasiones las empresas no cuentan con el recurso necesario para el desarrollo de esta medición de forma interna o externa. En tal sentido, es posible evaluar la calidad estadísticamente desde el nivel de calidad en función de la percepción de personal especializado —generalmente, centrado en el personal operativo con mayor experiencia—.

Este contexto es un fenómeno frecuente en las empresas de reciente creación y en vías de desarrollo. Entonces, la mejora y/u optimización de sus productos y/o procesos se desarrollan a partir de la evaluación de las cualidades percibidas.

A partir de lo anterior, se considera el uso del análisis de atributos clasificados desde los arreglos ortogonales de Taguchi. Debido a que, (i) el análisis de atributos clasificados permite evaluar estadísticamente la frecuencia de los atributos bajo estudio en función de sus efectos sobre la variable de respuesta; mientras que, (ii) los arreglos ortogonales permiten analizar dichos efectos con el menor número de réplicas, ahorrando recursos económicos y de tiempo.

El método Taguchi fue desarrollado por el Dr. Genichi Taguchi en el año 1986 [5]. El diseño de experimentos basado en los arreglos ortogonales de Taguchi, permiten producir los mejores parámetros que optimizan un proceso/producto, con el menor número de corridas experimentales. Ahora bien, cuando no es posible medir la característica de calidad —menor es mejor, mayor es mejor y nominal es mejor— en una escala continua, pero es posible clasificarla en una escala gradual discreta, el análisis de atributos clasificados es la estrategia adecuada que permite determinar los parámetros óptimos del proceso/producto.

El análisis de atributos clasificados, ha sido empleado como herramienta de optimización de forma basta, e.g., en [6] se disminuyen los instantes en los que un proceso productivo migra de estar en estado fuera de control, lo que genera un aumento en las tasas de no conformidad; en [7], se reporta el proceso que optimiza la clasificación de uso de la tierra y cobertura terrestre; el análisis de revisión en línea para la gestión de la calidad del hotel a nivel macro y micro, se presenta en [8]; en [9], se optimizan los parámetros de horneado de pan.

Entonces, el presente artículo aborda la optimización de los parámetros de los factores que influyen en el pegado textil por termofusión a través del análisis de atributos clasificados empleando el diseño de experimentos de Taguchi. Se considera que el nivel de calidad percibida por los expertos del proceso productivo —adquirida por la experiencia y el conocimiento—, permite que esta sea analizada y evaluada de forma estadística, de manera tal, que la optimización de los parámetros del proceso es posible.

En la literatura se ha documentado el uso de la herramienta de análisis de atributos clasificados, de forma aislada y de forma combinada con otros enfoques. Sin embargo, poco se conoce de su aplicación y desempeño en el sector textil para el sector automotriz, en tal sentido, el presente artículo abona a llenar este vacío.

Metodología

La Figura 1, presenta la metodología empleada en la determinación de los parámetros óptimos del laminado textil por termofusión empleado en la tapicería automotriz, mediante el análisis de atributos clasificados con arreglos ortogonales de Taguchi.

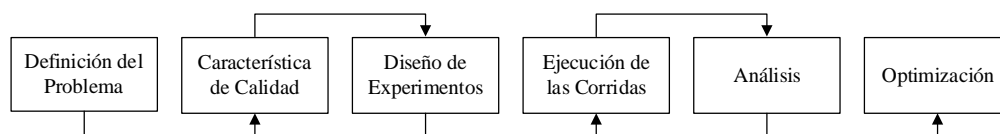


Figura 1. Enfoque metodológico.

El enfoque metodológico empleado, se conforma de seis etapas; el cual, es planteado como una estrategia que permite analizar el sistema e identificar desde la clarificación del problema, la característica de calidad de interés hasta el análisis estadístico de la percepción de la calidad; lo que permite determinar los parámetros óptimos de operación del pegado de la tela-espuma de poliuretano.

Definición del Problema

El estudio se realiza en una empresa textil, ubicada en el municipio de San Andrés Cholula Puebla-México; y que dentro de su amplia cartera de productos se dedicada a la manufactura de materia prima para el sector automotriz; en específico, la empresa se especializa en la producción de tela-espuma como materia prima empleada en la tapicería interior automotriz.

En la empresa bajo estudio, la calidad en el pegado de la tela a espuma de poliuretano por termofusión, ha presentado inconformidades de parte del cliente automotriz; lo cual, se ha visto reflejado en quejas y devoluciones. El departamento de ventas ha recibido de parte de los clientes un 33.2% de quejas y devoluciones, atribuidos al no cumplimiento en la calidad esperada en el pegado de la tela-espuma, ocasionando pérdidas económicas y de clientes. Dado el contexto situacional de la empresa bajo estudio; el despegado del material, no es factible de medición de forma continua.

Entonces, considerando la expertise del personal operativo se decide que esta cualidad debe ser tratada como un atributo clasificado, por lo qué, el despegado se establece como un atributo clasificado, agrupándolo en tres categorías, a saber: “Malo”, “Regular” y “Bueno”.

Característica de Calidad

A partir de lo anterior, la característica de calidad se define como “mayor es mejor”; siendo, la variable de respuesta como sigue:

$$y = \text{pegado de la tela-espuma} \begin{cases} \text{Malo} \\ \text{Regular} \\ \text{Bueno} \end{cases}$$

Ahora bien, a partir de la recomendación del personal operativo, los factores y los niveles que se considera pueden influir en el desempeño de la característica de calidad, se definieron (ver Tabla 1). Mientras que, la evaluación cualitativa de la calidad en el pegado de la tela-espuma, se realizó por un operario; siendo este seleccionado por el supervisor de la línea de producción, al ser el operador con el mayor conocimiento y experiencia en dicho proceso productivo.

Tabla 1. Factores y sus niveles, considerados en el pegado de la tela-espuma.

Factores	Nivel		Unidades
	Bajo	Alto	
A: Velocidad	19.32	22.08	m/min
B: Pegamento	0.069	0.1104	mm
C: Calibración	3.864	5.106	mm
D: Operador	I	II	---
E: Temperatura	171.12	180.78	°C

Diseño de Experimentos

El diseño experimental, considera un arreglo ortogonal $L_8(2)^7$. La Tabla 2, muestra el arreglo experimental con los factores establecidos en el estudio.

Tabla 2. Factores en el arreglo del diseño experimental en estudio.

Corridas	Factores						
	1 : A	2 : B	3 : e ₁ *	4 : C	5 : D	6 : e ₂ *	7 : E
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

* e₁ y e₂, representan el error de estimación en la medición.

Resultados y Discusión

En esta sección son descritos los hallazgos del estudio, en cada una de las etapas definidas en la sección de Metodología; así mismo, estos se discuten en función del objetivo del estudio en contraste con la hipótesis planteada.

Ejecución de las Corridas

El estudio implicó la consideración de 8 replicas por cada corrida. La Tabla 3, muestra los resultados de las replicas en cada corrida experimental, e.g., en la primera corrida la unión se categorizó como “Malo”, cuatro como “Regular” y tes como “Bueno”. Cabe mencionar, que las corridas se realizaron de forma aleatoria y bajo condiciones controladas a nivel laboratorio, esto con la finalidad de que el error atribuible a factores externos no influyera sobre la variabilidad de la variable de respuesta.

Tabla 3. Resultados de las réplicas del diseño experimental.

Corrida	1 : A	2 : B	3 : e ₁	4 : C	5 : D	6 : e ₂	7 : E	Malo	Regular	Bueno
1	19.32	0.069	1	3.864	I	1	171.12	1	4	3
2	19.32	0.069	1	5.106	II	2	180.78	2	3	3
3	19.32	0.1104	2	3.864	I	2	180.78	2	3	3
4	19.32	0.1104	2	5.106	II	1	171.12	3	4	1
5	22.08	0.069	2	3.864	II	1	180.78	1	3	4
6	22.08	0.069	2	5.106	I	2	171.12	3	2	3
7	22.08	0.1104	1	3.864	II	2	171.12	2	2	4
8	22.08	0.1104	1	5.106	I	1	180.78	3	3	2

Análisis

La Tabla 4, resume los efectos de los factores de la Clase I y Clase II, sobre la variable de respuesta; mientras, que la Tabla 5 presenta la media de los efectos de dichos factores que se considera influyen en la calidad del pegado de la tela-espuma. La suma y media de las réplicas de la Clase III no se realiza, dado que no existe variación a medir en dicha clase.

Tabla 4. Suma de las réplicas de los factores en estudio.

Nivel	Clase													
	I							II						
	A	B	C	D	E	e ₁	e ₂	A	B	C	D	E	e ₁	e ₂
Bajo	8	7	6	9	9	8	8	22	19	18	21	21	20	22
Alto	9	10	11	8	8	9	9	19	22	23	20	20	21	19

Tabla 5. Media de las réplicas de los factores en estudio.

Nivel	Clase													
	I							II						
	A	B	C	D	E	e ₁	e ₂	A	B	C	D	E	e ₁	e ₂
Bajo	5.50	4.75	4.50	5.25	5.25	5.00	5.50	5.50	4.75	4.50	5.25	5.25	5.00	5.50
Alto	4.75	5.50	5.75	5.00	5.00	5.25	4.75	4.75	5.50	5.75	5.00	5.00	5.25	4.75

El Análisis de Varianza (ANOVA por sus siglones en inglés, *ANalysis Of VARIance*) de los factores analizados en el pegado de la tela-espuma por termofusión se muestra en la Tabla 6. El ANOVA, muestra estadísticamente los factores a los cuales se les atribuye la variación en el comportamiento de la variable de respuesta.

Para el caso bajo estudio, es posible notar que el factor *D* : Operador y el factor *E* : Temperatura, son los que mayor variabilidad atribuible presentan sobre la variable de interés; mientras que, el factor *C* : Calibración, que a pesar también ser estadísticamente significativamente sobre la variable de respuesta, es el factor que en menor grado influye sobre el pegado de la tela-espuma.

Tabla 6. ANOVA.

Factor	SS	V	MS	F ₀	Significativo
A	0.34545833	6	0.0576	104.2094	*
B	0.66585883	6	0.1110	54.0655	*
C	1.84960787	6	0.3083	19.4636	*
D	0.07398431	6	0.0123	486.5896	*
E	0.07398431	6	0.0123	486.5896	*
ERROR	8188.99111	33	248.1512		
TOTAL	8192	63			

* Significativo al 5%; $F_{\alpha,df,dfERROR} = 2.3893939$

La Figura 2, muestra el comportamiento de las medias de la Clase I (Figura 2a) y la Clase II (Figura 2b) en el pegado de la tela-espuma.

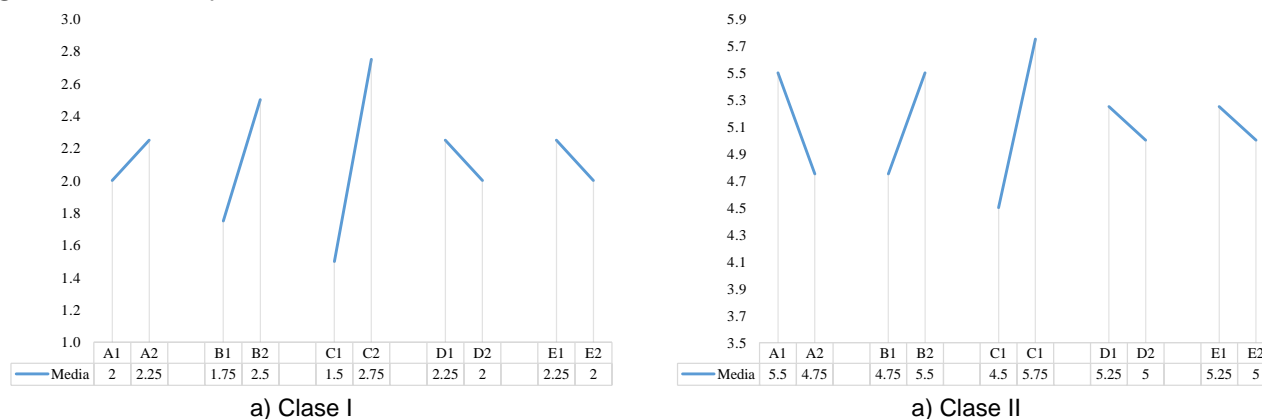


Figura 2. Gráfica de medias.

La gráfica de medias, permite mostrar el desempeño de la variable de respuesta en cada factor, en función de los valores de los niveles “Bajo” y “Alto” de los factores.

Optimización

Determinado el comportamiento de los factores; en esta última etapa del estudio se identifican los parámetros óptimos de operación que permiten maximizar el desempeño de la característica de calidad —mayor es mejor—; i.e., se establecen los parámetros óptimos que maximizan la calidad del pegado de la tela-espuma.

La Tabla 7, presenta los parámetros óptimos por cada clase.

Tabla 7. Parámetros óptimos por clase.

Factor	Clase				Unidades
	I		II		
	Nivel	Parámetro	Nivel	Parámetro	
A: Velocidad	Bajo	19.32	Bajo	19.32	m/min
B: Pegamento	Bajo	0.069	Alto	0.1104	Mm
C: Calibración	Bajo	3.864	Alto	5.106	Mm
D: Operador	Alto	II	Bajo	I	---
E: Temperatura	Alto	180.78	Bajo	171.12	°C

Mediante, un análisis comparativo entre los niveles-parámetros de la Clase I y la Clase II, son determinados los parámetros óptimos del pegado de la tela-espuma de poliuretano mediante soldadura por alta frecuencia empleando la tecnología por termofusión. En tal sentido, la Tabla 8 presenta los resultados del análisis comparativo entre las clases.

Tabla 8. Parámetros óptimos del pegado tela-espuma.

	Factores	Nivel	Parámetro	Unidades
A:	Velocidad	Bajo	19.32	m/min
B:	Pegamento	Alto	0.1104	mm
C:	Calibración	Alto	5.106	mm
D:	Operador	Alto	II	---
E:	Temperatura	Alto	180.78	°C

A partir de los resultados de la Tabla 8, los parámetros óptimos de operación que permiten optimizar la característica de calidad, “mayor es mejor”, del pegado de la tela-espuma en función del análisis de atributos clasificados considerando el arreglo ortogonal de Taguchi $L_8(2)^7$, son: Velocidad a 19.32 m/min, Pegamento a 0.1104 mm, Calibración en 5.106 mm, Operador tipo II y, una Temperatura de 180.78 °C. Entonces, la combinación de estos parámetros de operación en el sistema del proceso de pegado tela-espuma permiten que la calidad del pegado sea óptima bajo las condiciones de operación evaluadas.

Finalmente, para corroborar con los hallazgos de este estudio, la configuración óptima de los parámetros del sistema del área de pegado tela-espuma, se implementaron a escala industrial en la línea de producción de la empresa bajo estudio. Para este análisis, se corrieron 35 rollos de material, los cuales al ser evaluados mostraron cumplir con el atributo de “Bueno” en el 94.29% de los casos; lo que indica que el estudio realizado permitió mejorar la calidad del pegado-tela.

Trabajo a Futuro

Establecidos y definidos los parámetros de operación del sistema, a partir del análisis de atributos clasificados considerando la percepción de la calidad en función de la expertise del operario con mayor conocimiento; y sabedores que la calidad medida en escala de forma continua es preferible a una escala no continua, el equipo de investigación está en desarrollo de un sistema de monitoreo y control de la calidad, que permita cuantificar de forma numérica la calidad del pegado de la tela-espuma. Parte de este desarrollo tecnológico se está realizando, desde el enfoque del *Lean Manufacturing*. Para esto se están considerando el uso y aplicación de herramientas como el Poka-Yoke con la intención de establecer un sistema que permita mediante sensores determinar la temperatura generada durante el proceso de unión de la tela-espuma en línea de producción.

Conclusiones

Este trabajo de investigación ha abordado la determinación de los parámetros óptimos de operación del pegado de tela a espuma de poliuretano mediante soldadura por alta frecuencia, explorando el espacio de soluciones factibles a través del diseño de experimentos de Taguchi mediante un arreglo ortogonal $L_8(2)^7$, sobre un análisis de atributos clasificados desde la percepción del grado de cumplimiento la calidad subjetiva —calidad cualitativa—. En tal sentido, el enfoque metodológico empleado en el presente estudio permitió determinar los parámetros óptimos de operación, y cuya configuración se validó a nivel industrial, corroborándose el desempeño de la combinación de los factores y sus niveles. Por lo que, el análisis de atributos clasificados se plantea como una estrategia que permite optimizar la característica de calidad de procesos/productos desde atributos.

Si bien es cierto, que en la literatura se ha documentado acerca de diversos estudios e investigaciones relacionadas con la optimización desde el análisis de atributos de la calidad percibida de un proceso/producto; existen escasos estudios que abordan el desempeño de la industria textil proveedora del sector automotriz. El presente estudio, proporciona un enfoque de optimización desde la calidad percibida de forma cualitativa de un proceso/producto de forma general, y de la producción de tela-espuma para el sector automotriz en México en forma particular.

Para la empresa bajo estudio, la determinación óptima de los parámetros de operación le permitieron a la empresa disminuir las quejas y devoluciones asociadas al laminado textil en un 17.5%. Por lo que, el enfoque estadístico es viable y factible.

Finalmente, este estudio contribuye a reforzar y enfatizar en que la calidad debe ser medida, siempre y en todo momento, independientemente si la variable de interés es medible cuantitativa o cualitativamente. La calidad, es el equilibrio entre lo que el cliente demanda y lo que el proveedor ofrece, en función del cumplimiento de las especificaciones del producto.

Referencias

- [1] A. Pourmohammadi, "Thermal bonding," *Handbook of Nonwovens*, pp. 441–469, Jan. 2022, doi: 10.1016/B978-0-12-818912-2.00007-0.
- [2] P. Otrisal, V. Obsel, J. Buk, and L. Svorc, "Preparation of Filtration Sorptive Materials from Nanofibers, Bicofibers, and Textile Adsorbents without Binders Employment," *Nanomaterials*, vol. 8, no. 8, 2018, doi: 10.3390/nano8080564.
- [3] Q. Yu *et al.*, "Study on creating the three-dimensional shape of apparel by thermal bonding of thermoplastic polyurethane film and vacuum forming molding," *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, vol. 15, p. 1558925019900154, Jan. 2020, doi: 10.1177/1558925019900154.
- [4] M.-C. Lin, C.-W. Lou, J.-Y. Lin, T. A. Lin, and J.-H. Lin, "Tensile strength, peel load, and static puncture resistance of laminated composites reinforced with nonwoven fabric," *Journal of Materials Science*, vol. 53, no. 17, pp. 12145–12156, 2018, doi: 10.1007/s10853-018-2481-3.
- [5] G. Taguchi, A. P. Organization, and O. asiatique de productivité, *Introduction to Quality Engineering: Designing Quality Into Products and Processes*. The Organization, 1986. [Online]. Available: <https://books.google.com.mx/books?id=1NtTAAAAMAAJ>
- [6] L. F. Bessegato, R. C. Quinino, F. R. B. Cruz, and A. R. Pereira, "An analysis of online quality control by attributes with an imperfect classification system and inspections with samples of size n," *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, pp. 1–26, May 2021, doi: 10.1080/03610918.2021.1923743.
- [7] M. B. A. Gibril, M. O. Idrees, H. Z. M. Shafri, and K. Yao, "Integrative image segmentation optimization and machine learning approach for high quality land-use and land-cover mapping using multisource remote sensing data," *Journal of Applied Remote Sensing*, vol. 12, no. 1, p. 016036, Mar. 2018, doi: 10.1117/1.JRS.12.016036.
- [8] Y.-H. Hsiao and Y.-T. Hsiao, "Online review analytics for hotel quality at macro and micro levels," *Industrial Management & Data Systems*, vol. 121, no. 2, pp. 268–289, Jan. 2021, doi: 10.1108/IMDS-04-2020-0214.
- [9] P.-L. Chung, E.-T. Liaw, M. Gavahian, and H.-H. Chen, "Development and Optimization of Djulis Sourdough Bread Using Taguchi Grey Relational Analysis," *Foods*, vol. 9, no. 9, 2020, doi: 10.3390/foods9091149.

Propuesta de plan de mantenimiento utilizando TPM y RCM en una empresa textil.

Ing. B. L. Flores Hidalgo^{1*}, Dr. J. J. Hurtado Moreno², M. en C. J. M. García Córdova³

¹Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, UPIICSA-IPN, Ciudad de México.

bfloresh1501@alumno.ipn.mx, brendalofh@gmail.com

²Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, UPIICSA-IPN, Ciudad de México. jhurtado@ipn.mx

³Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, UPIICSA-IPN, Ciudad de México. jgarciaco@ipn.mx

Área de participación: Ingeniería Industrial.

Resumen

En el presente documento se expone una propuesta de un plan de mantenimiento preventivo en una empresa del ramo textil derivada de la combinación de las metodologías TPM y RCM. La propuesta se realizó a través de la observación, el registro de información y las entrevistas abiertas, a partir de estas técnicas de recolección, se elaboró un diagnóstico situacional del proceso en el que se evaluó el OEE del mismo, de igual forma, por medio del diagrama de Pareto y del análisis de criticidad se identificaron los puntos críticos del sistema, con lo cual, se elaboró un AMEF de proceso que permitió proponer algunas actividades de mejora, las cuales conformaron el plan de mantenimiento. Con este estudio se pretende comprender la manera en que diferentes metodologías de mantenimiento pueden coadyuvar para la elaboración de un plan que permita reducir los paros no programados en una línea de producción.

Palabras clave: Mantenimiento preventivo, TPM, RCM, AMEF.

Abstract

This document presents a proposal for a preventive maintenance plan in a company in the textile industry derived from the combination of the TPM and RCM methodologies. The proposal was made through observation, information recording and open interviews, based on these collection techniques, a situational diagnosis of the process was elaborated in which the OEE of the same was evaluated, in the same way, by means of the Pareto diagram and the criticality analysis, the critical points of the system were identified, with which, a process FMEA was elaborated that allowed proposing some improvement activities, which formed the maintenance plan. This study aims to understand the way in which different maintenance methodologies can contribute to the development of a plan that allows reducing unscheduled stoppages in a production line.

Key words: Preventive maintenance, TPM, RCM, FMEA.

Introducción

Hoy en día la globalización de los mercados ha generado un alza en las demandas de productos, lo que, no solo ha provocado una alta competitividad entre empresas, sino que también, ha generado grandes exigencias de producción en las compañías [10], lo que ha hecho necesario tener una eficiencia operativa que permita acelerar la capacidad de producción [5], centrándose en la disminución de costos, aumentando los niveles de productividad y calidad, satisfaciendo los requerimientos del cliente.

Cuando se tiene un proceso productivo, por lo general, la atención va enfocada hacia la maquinaria y su funcionamiento, pues, si ocurre alguna avería, es muy probable que no se obtenga la capacidad de producción deseada, lo que podría desencadenar complicaciones en la planificación de la producción, aumento en los costos de la misma y almacenamiento de inventario desmedido.

Actualmente, uno de los objetivos de cualquier compañía es tener una productividad más eficiente, sin embargo, dentro del proceso productivo existen varios factores que influyen en él, como las averías presentadas en la maquinaria, causantes de paros no deseados, los cuales, podrían ser prevenidos a través de un buen mantenimiento [11]. Dentro de la literatura se mencionan diferentes tipos de mantenimiento, los cuales, son utilizados de acuerdo a los requerimientos de cada empresa, la Figura 1 presenta una categorización éstos.

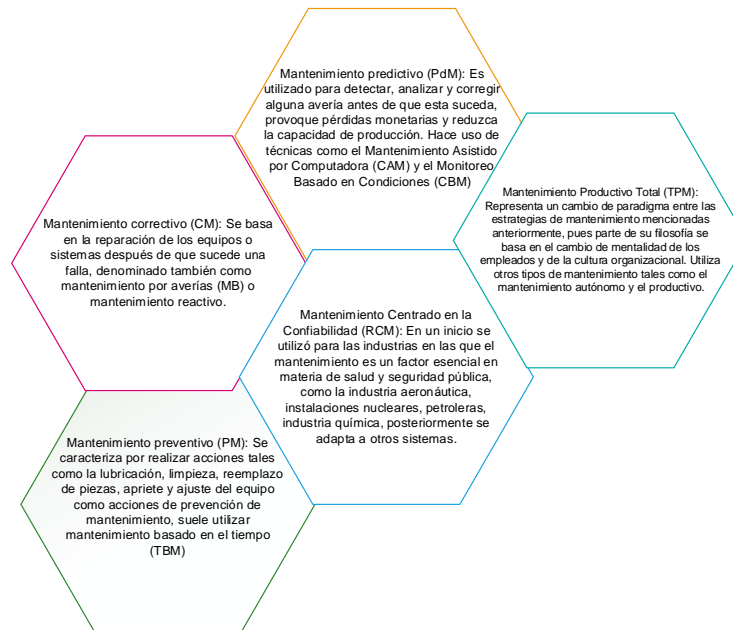


Figura 1. Clasificación de los tipos de mantenimiento basado en [3][7][9]. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Como se puede observar en la figura anterior, existen diferentes tipos de metodologías utilizadas para elaborar una estrategia de mantenimiento, tales como: el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), el Mantenimiento Productivo Total (TPM), el Mantenimiento Asistido por Computadora (CAM), entre otras. No obstante, de acuerdo con [10] las metodologías más implementadas son el TPM y el RCM. Cabe mencionar que, según [12] una de las técnicas utilizadas para la creación de un plan de mantenimiento preventivo es el RCM pues es un método de análisis sistemático, objetivo y documentado que se puede aplicar en cualquier industria, el cual, se basa en identificar el contexto de la operación y las consecuencias de las fallas de cada equipo, con el propósito de generar una estrategia que permita garantizar los niveles de confiabilidad [8]. Por otro lado, el objetivo del TPM es maximizar la productividad y la disponibilidad del equipo para ello se crea una motivación entre los trabajadores [10], el indicador de este tipo de metodología es el Overall Equipment Effectiveness (OEE), a través del él se mide la productividad de fabricación y muestra el verdadero porcentaje del tiempo productivo de un proceso [1]. La Figura 2 muestra algunas de las características de las técnicas TPM y RCM, así como la relación existente entre las mismas.

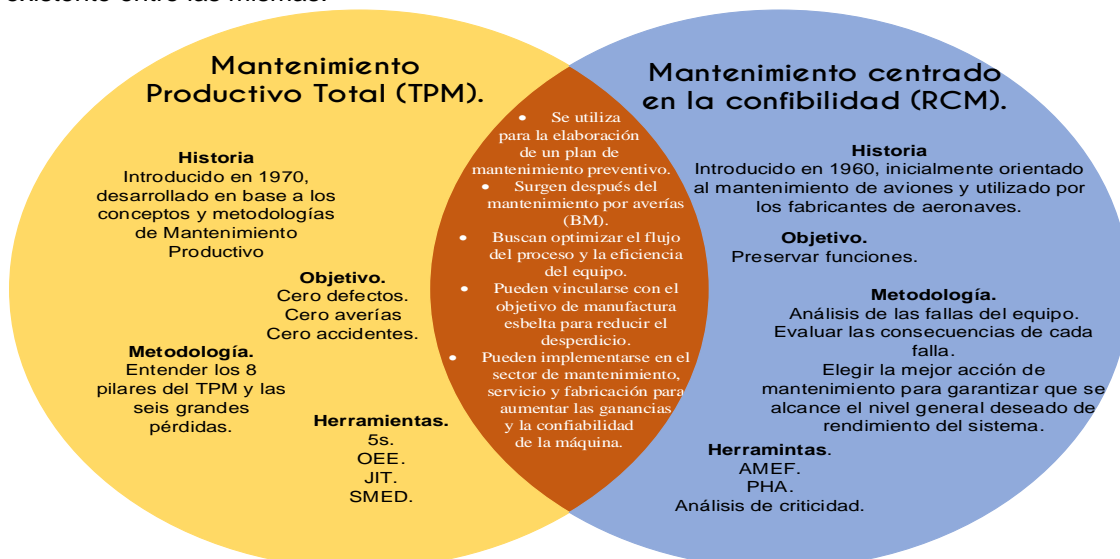


Figura 2. Relación entre las metodologías TPM y RCM basado en [2]. Fuente: Elaboración propia, 2022.

La planeación del mantenimiento debe programarse considerando la demanda del producto pues, la producción y el mantenimiento dependen del tiempo de funcionamiento de la maquinaria [4]. De acuerdo con [6] priorizar las

tareas de mantenimiento es esencial, pues de esta manera, se reducen las actividades innecesarias, lo que permite utilizar los recursos de manera más eficiente y minimizar los costos incurridos en ellas, siendo este último factor uno de los desafíos más importantes a considerar, puesto que, en muchas empresas, la inversión en las prácticas de mantenimiento son vistas como una carga financiera adicional, además de que en la mayoría de las organizaciones no están seguras de la rentabilidad que esto implica [5].

Metodología

La metodología utilizada es tipo mixta, ya que, se utilizaron los métodos de investigación cualitativo y cuantitativo, asimismo, para la recolección de evidencia documental se emplearon diferentes técnicas, las cuales, se exponen a continuación:

- Observación: Se utilizó la observación no participante, con el propósito de identificar las actividades del proceso que realizan cada uno de los operadores.
- Entrevistas abiertas: Se realizaron entrevistas a los operarios para conocer y comprender cuales eran las fallas que presentaba la maquinaria, con el objetivo de entender la función de los subsistemas que la conforman.

La recopilación y el análisis de datos expuestos en el presente trabajo, emanan de la experiencia vivencial obtenida en una empresa dedicada a la fabricación de borra textil (término utilizado en el argot de la industria textil para la recuperación de desperdicio de tela), la Figura 3 expone las etapas a partir de las cuales fue desarrollado este artículo, cabe recalcar que, los círculos rojos presentan las herramientas tomadas de las diferentes metodologías que permitieron la creación del plan de mantenimiento.

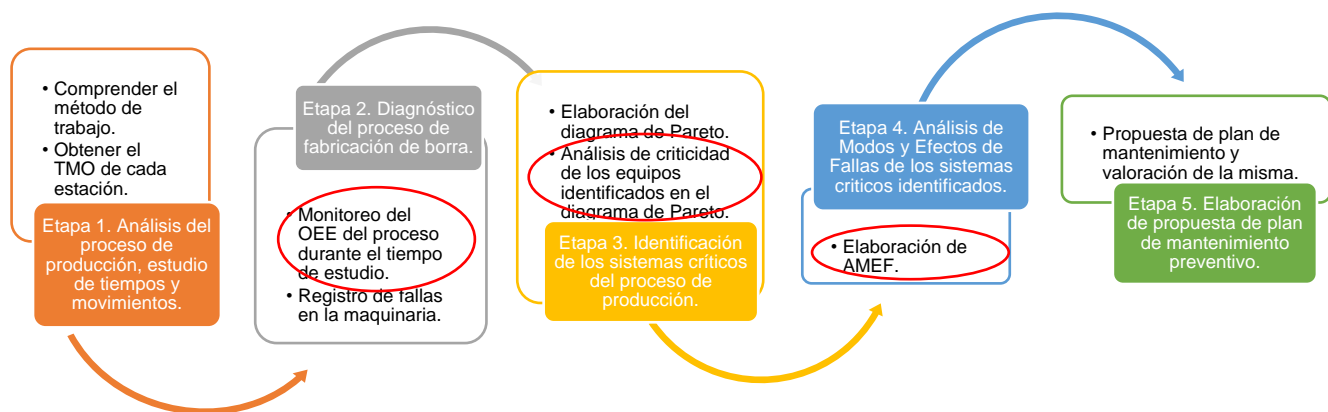


Figura 3. Etapas de la investigación. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Etapa 1. Análisis del proceso de producción, estudio de tiempos y movimientos.

En esta etapa se analizó el método utilizado por los operarios para la manufactura de borra textil, para ello se realizó un estudio de tiempos y movimientos, la Figura 4 expone el proceso de elaboración, a partir de ella se puede notar que, para la fabricación de este producto se requieren tres operadores principales, los cuales, se encargan de dar flujo al proceso productivo, particularmente durante este proceso se realizan dos inspecciones y seis operaciones. Es importante señalar que, la operación “preparar el empaque para la paca de borra”, fue considerada como una actividad en paralelo, por lo cual, el tiempo de la misma no se tomó en cuenta para el cálculo del tiempo medio observado (TMO) final, resultando este de 2043.876 segundos, es decir, 34.065 minutos.

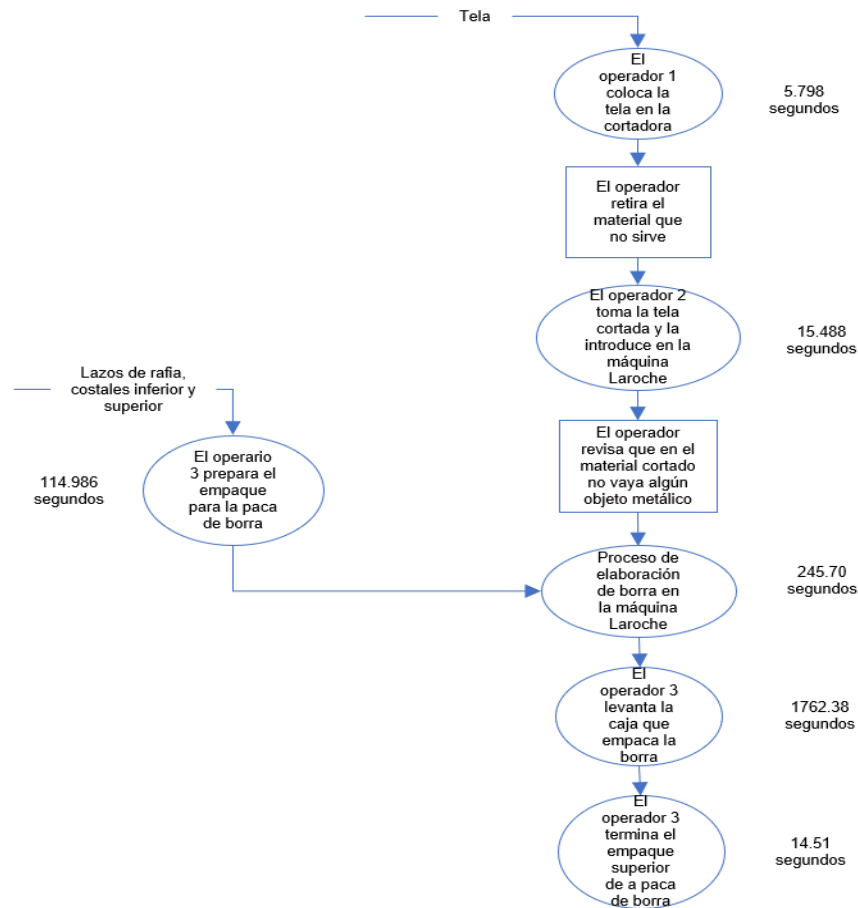


Figura 4. Diagrama de operaciones del proceso de elaboración de borra. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Etapa 2. Diagnóstico del proceso fabricación de borra.

Con el propósito de conocer la eficiencia general de la línea del proceso de producción, se realizó un diagnóstico de la misma, para ello se monitoreó la manufactura de este producto durante dos meses, cabe mencionar que, para el registro de los paros no programados en la línea de producción se le entregó un formato a uno de los operadores. En la Tabla 1 se puede observar que, además de catalogar las fallas, se registró el tiempo aproximado de paro y el número de pacas que se fabricaban en el día laboral.

Tabla 1. Formato de registro de fallas. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Día	Horario	Fecha	Falla	Descripción	Horas de paro (aproximado)	Número de pacas que realizan
Lunes	Hora inicio					
	Hora fin					
Martes	Hora inicio					
	Hora fin					
Miércoles	Hora inicio					
	Hora fin					
Jueves	Hora inicio					
	Hora fin					
Viernes	Hora inicio					
	Hora fin					
Sábado	Hora inicio					
	Hora fin					

En este mismo orden de ideas, se utilizó una de las herramientas del TPM, el OEE, a través del cual, se monitoreó la disponibilidad, el rendimiento y la calidad de la línea de producción, para el cálculo de estos factores se tomaron en cuenta las consideraciones que tiene la empresa, tales como la jornada laboral y los paros programados, la Tabla 2 expone las características mencionadas anteriormente.

Tabla 2. Consideraciones de la empresa. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Jornada laboral	Lunes a sábado	Inicio	Fin	Tiempo (min)
Horario	Lunes a viernes	7:00:00	16:00:00	540
	Sábado	7:00:00	13:00:00	360
Paros programadas	Preparación de la máquina	7:00:00	7:30:00	30
	Hora de comida	12:30	13:00	30
	Limpieza de la máquina	15:40	16:00	20
Consideraciones extras	La empresa ha establecido que a la semana se deben producir 9 toneladas			
	La semana de producción comienza el viernes y termina el jueves de la semana posterior			
	El día sábado no hay tiempo para la comida			

Asimismo, se utilizaron las ecuaciones (1), (2), (3), (4) y (5) para el cálculo de los factores que componen el OEE.

$$CP = \frac{\text{Tiempo operativo}}{TMO} \quad (1)$$

$$\% \text{ disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo operativo} - \text{Tiempo de paros no programados}}{\text{Tiempo disponible}} \quad (2)$$

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción teórica}} \quad (3)$$

$$\% \text{ calidad} = \frac{\text{Producción real} - \text{Productos malos}}{\text{Producción real}} \quad (4)$$

$$OEE = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad} \quad (5)$$

La Figura 5 presenta la gráfica correspondiente a cada uno de los indicadores y del OEE general, cabe señalar que, se establecieron cuatro niveles de referencia para conocer el estado en el que se encuentra el porcentaje de cada uno de los aspectos a evaluados, siendo un nivel inaceptable del 0 al 64%, regular del 65% al 84%, estándar de clase mundial del 85% al 99% y perfecto cuando se tiene un porcentaje del 100% [13] [14]. Como se puede observar a pesar de que el indicador de calidad está en un nivel ideal, los dos indicadores restantes (rendimiento y disponibilidad) son inaceptables, por lo cual, el OEE general se encuentra en un nivel inaceptable, lo que implica que el proceso productivo requiere plantear estrategias que permitan mejorarlo.

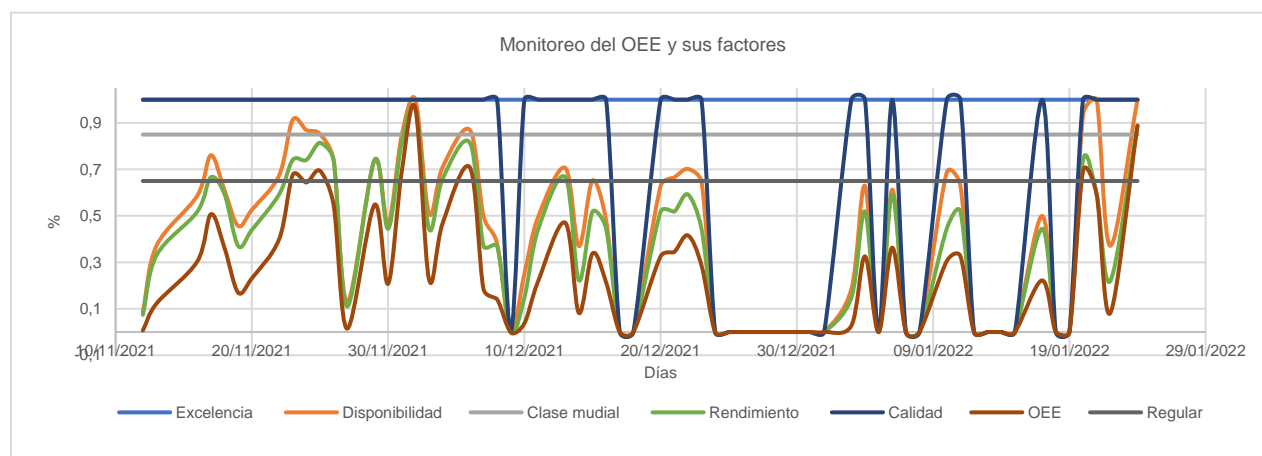


Figura 5. Monitoreo del OEE y sus factores. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Etapa 3. Identificación de sistemas críticos del proceso de producción.

El objetivo de esta fase es conocer los sistemas críticos del proceso, es decir, aquellos que generaron una mayor cantidad de paros no programados en el proceso productivo. A través del registro de las fallas que se presentaron durante el periodo de diagnóstico, se identificaron las interrupciones más recurrentes presentadas en la línea de producción, cabe destacar que, para su realización se tomó en cuenta el tiempo de duración. La Figura 6 presenta el diagrama de Pareto correspondiente con el objetivo de identificar los puntos críticos del proceso que requieren mantenimiento.

Es preciso enfatizar que, el análisis de Pareto también se le conoce como una técnica 80/20, la cual, ayuda a encontrar los factores que son esenciales en el caso de estudio, lo que permite ignorar aquellos factores triviales [13]. En este gráfico se observa que, la relación 80/20 abarca los siguientes sistemas: cortadora, interruptor del sistema eléctrico, cuerpo 1, prensa, cuerpo 4 y máquina en general, lo que significa que la propuesta de mantenimiento irá enfocada a la prevención de averías que suceden en estos equipos.

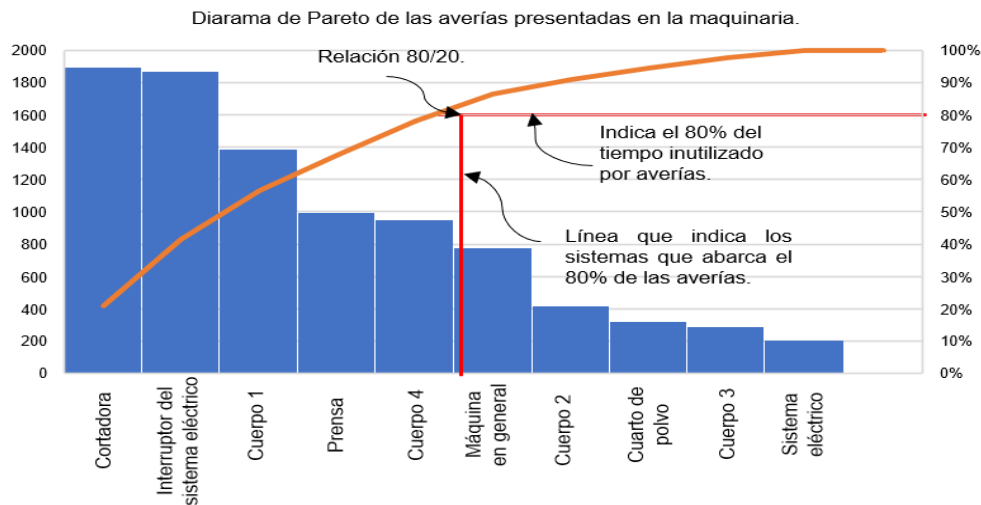


Figura 6. Diagrama de Pareto. Fuente: Elaboración propia, 2022.

De esta manera, con el objetivo de conocer la criticidad de los equipos identificados a partir del diagrama de Pareto, se realizó el análisis pertinente de los mismos con el objetivo de conocer de una mejor forma el nivel de riesgo que representa cada equipo. La Figura 7 muestra que, tres de los cinco equipos evaluados se clasifican como un sistema crítico, mientras que los dos restantes tienen un estado semi crítico. Particularmente, la propuesta de mantenimiento irá enfocada a estos equipos, pues tal como se puede observar los sistemas que conforman el proceso productivo tienen una criticidad considerable.

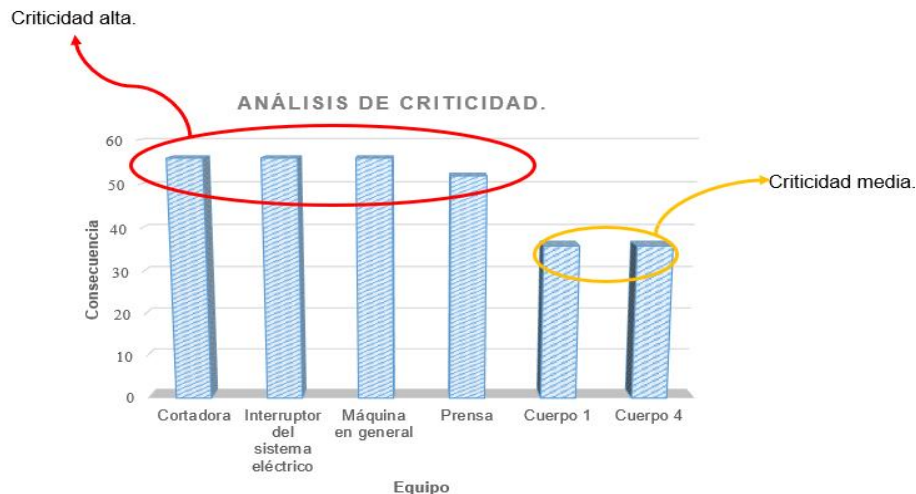


Figura 7. Análisis de criticidad. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Etapa 4. Análisis de modos de efectos de fallas de los sistemas críticos identificados.

Una vez identificados los sistemas críticos en el proceso se realizó un Análisis de Modo de Efectos y Fallas (AMEF), esta metodología se basa en la jerarquización del grado de criticidad de riesgo que presenta un equipo, es generalmente empleada en la planeación del mantenimiento, específicamente, en el RCM, a través de la identificación de las causas de falla y el efecto de fallo de las mismas [2]. Por medio de este método se evaluaron los factores de gravedad, ocurrencia y detección de cada uno de los modos de fallas obtenidos, la Figura 8 presenta el AMEF elaborado.

Preparado por:		Brenda Lorena Flores Hidalgo		ANÁLISIS DE MODOS DE EFECTOS Y FALLAS (AMEF)														
Revisado por:		Ing. Antonio García		.DISEÑO X PROCESO .MEDIOS														
Aprobado O.T.:		Ing. Antonio García																
Cliente:		Fausto Suárez S. A de C. V		Denominación del producto:					Paca de borra									
Planta:		Área de elaboración de borra		Proceso:					Elaboración de borra									
Ítem	Descripción de la fase	Modo/s potencial/es de fallo	Efecto/s potencial/es del fallo	Gravedad	Causa(s) potencial(es) del fallo(s)	Evidencia gráfica	Ocurrencia	Verificación(es) y/o control(es) actual(es)	Detección n	NPR	Acción(es) recomendada(s)	Área(s) / persona(s) responsable(s) y fecha de realización						
Cortadora	Corta los pedazos de tela para rehacerlos en piezas más pequeñas	Cuchilla	No se puede cortar la tela	8	Falta de filo de la cuchilla		7	Ninguna	2	112	Afilarse la cuchilla cada semana o cada 9 toneladas	Mantenimiento / Técnico						
				9	Fractura de la cuchilla		4	Ninguna	1	36	Comprar una nueva cuchilla (tipo guillotina)	Dirección General / Juan José Suárez						
		Rodillo de goma	El material no fluye.	8	El material se plastifica y no permite que el rodillo gire		9	Ninguna	3	216	Limpeza cada 20 minutos durante el turno o cada que se atore el material.	Proceso / Operador 1 (cortadora)						
						Revisar el tipo de material a cortar (si es licra quitarlo)					Proceso / Operador 1 (cortadora)							
						O cortar 2 o 3 veces el material, para obtener pedazos más pequeños					Proceso / Operador 1 (cortadora)							
		Tendido	El material no fluye.	7	El material no se adhiere al tendido		4	Ninguna	3	84	Comprar un tendido nuevo que tenga relieve	Dirección General / Juan José Suárez						
						Ajustar la velocidad del tendido y revisarla semanalmente					Mantenimiento / Técnico							
						7					El tendido está roto.		5	Ninguna	3	105	Coser el tendido que está roto.	Proceso / Operador 3 (encargado de línea)
						7					El tendido está viejo		4	Ninguna	3	84	Inspeccionar condiciones del tendido cada que termina el turno	Proceso / Operador 3 (encargado de línea)
		Interruptor del sistema eléctrico	Proporciona energía a la planta necesaria para producir	Corto	El proceso de producción se para	8	Las conexiones están flojas		2	Ninguna	5	80	Apretar conexiones mensualmente	Mantenimiento / Ing. Enrique Carmona				
Inspeccionar conexiones mensualmente	Mantenimiento / Ing. Enrique Carmona																	
Cuerpo 1	Recibe el material y comienza desgarrar la tela	Tambora	No se puede desgarrar la tela	8	Falta de filo en los clavos que la integran		3	Ninguna	7	168	Cambiar el sentido de la tambora cada 30 toneladas	Proceso / Operador 3 (encargado de línea) y operador 1 (cortadora)						
				Rodillo de goma	No permite el flujo del material al siguiente cuerpo	7	Material atascado		4	Ninguna	3	84	Ajustar velocidades (parámetros).	Proceso / Operador 3 (encargado de línea)				
		Revisión de parámetros al inicio del turno	Proceso / Operador 3 (encargado de línea)															
		Tendido de entrada	No permite el flujo del material al siguiente cuerpo	7	Material atascado		4	Ninguna	3	84	Ajustar velocidades (parámetros).	Proceso / Operador 3 (encargado de línea)						
											Revisión de parámetros al inicio del turno	Proceso / Operador 3 (encargado de línea)						
		Cadena	No permite el flujo del material al siguiente cuerpo	2	El tensor de las cadenas está roto		2	Ninguna	3	12	Apretar el tensor cada semana	Mantenimiento / Técnico						
											Cambiar el tensor cada 6 meses	Mantenimiento / Técnico						
											Cuando falle cambiarlo de forma inmediata	Mantenimiento / Técnico						
											2	Las cadenas están flojas		2	Ninguna	3	12	Apretar las cadenas cada semana
		Cuando falle cambiarlas de forma inmediata	Mantenimiento / Técnico															
Motor reductor	No permite el flujo del material al siguiente cuerpo	2	Fuga de aceite en el motor reductor		2	Ninguna	3	12	Si hay fuga, repararlo inmediatamente	Proceso / Operador 1 (cortadora)								
									Revisar condiciones del equipo al final de turno	Proceso / Operador 1 (cortadora)								
Cuerpo 4	Ultimo cuerpo donde se desgarrar la tela y se envía a la prensa	Ventilador	No succiona el material hacia la prensa	8	El ventilador está sucio		3	Ninguna	6	144	Limpeza al inicio y al final del turno	Proceso / Operador 2 (máquina Laroche)						





Prensa	Compacta la borra para convertirla en paca	Bobina	La caja de la empacadora no sube	8	La bobina se quema		5	Ninguna	3	120	Cambio de bobina	Mantenimiento / Ing. Enrique Carmona		
			La bobina se calienta	8			5	Ninguna	3	120	Capacitación del personal para no exceder el tiempo en que se forma la paca de borra	Producción / Ing. Antonio García.		
		Pistón	La caja de la empacadora no compacta	8	Falta de aceite en la caja	3	Ninguna	3	72	Revisión de aceite una vez al mes	Mantenimiento / Ing. Enrique Carmona			
					La bomba no tiene presión					3	Ninguna	3	72	Cambio de empaques
		Pastilla	La prensa no tiene corriente	8	Se bota la pastilla	3	Ninguna	5	120	Revisión de parámetros una vez al mes	Mantenimiento / Ing. Enrique Carmona			
		Tablero	La caja de la empacadora no sube	7	Las conexiones están flojas	2	Ninguna	5	70	Revisión de empaques cada medio año	Mantenimiento / Ing. Enrique Carmona			
										Cambio de pastilla por una de mayor capacidad	Mantenimiento / Ing. Enrique Carmona			
		Carro	Empuja el material a la empacadora	7	El carro está sucio	2	Ninguna	5	70	Apriete de conexiones cada mes	Mantenimiento / Ing. Enrique Carmona			
		Tendido del carro	No jala el material hacia la caja	7	El tendido está roto	2	Ninguna	3	42	Limpieza de conexiones cada mes	Mantenimiento / Ing. Enrique Carmona			
										Limpieza del carro al final del turno	Proceso / Operador 3 (encargado de la línea)			
		Máquina general	Realiza el proceso de elaboración de borra	Tendido	Permite el flujo de la purga	7	El tendido está roto.		2	Ninguna	3	42	Coser el tendido que está roto.	Proceso / Operador 3 (encargado de la línea)
					El tendido está viejo	7			3	Ninguna	3	63	Inspeccionar condiciones del tendido cada que termina el turno	Proceso / Operador 3 (encargado de línea)
Cajones	Almacena la purga que cae			2	Los cajones están sucios		3	Ninguna	3	18	Limpieza de cajones al final de turno	Proceso / Operador 2 (máquina Laroche)		
Filtros y mangas	No se succiona el polvo			2	Los filtros y las mangas están sucios o llenos de polvo		2	Ninguna	5	20	Limpieza de filtros y mangas cada 15 días	Proceso / Operador 2 (máquina Laroche)		
Velocidades	La borra no fluye constantemente			8	Las velocidades están descalibradas		4	Ninguna	7	224	Revisar parámetros diario	Producción / Ing. Antonio García.		

Figura 8. AMEF del proceso de fabricación de borra. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Etapas 5. Elaboración de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo.

La etapa final de este artículo muestra una propuesta de un plan de mantenimiento basada a través de los puntos críticos identificados en la fase de diagnóstico de los sistemas que conforman el proceso de producción, a partir de dicha técnica, se plantean las actividades preventivas para advertir las fallas generadas por el no mantenimiento.

Resultados y discusión

Propuesta de mantenimiento.

Basándose en los datos obtenidos en el AMEF presentado anteriormente, se propone el siguiente programa de mantenimiento preventivo, la Figura 9 presenta las actividades a realizar en cada uno de los componentes que integran el sistema, asimismo, se exponen las tareas a realizar, las cuales, están categorizadas de acuerdo con la frecuencia de mantenimiento, planificando una programación diaria a aquellas que requieren una limpieza, revisión y apriete, del mismo modo, esta propuesta contiene algunas consideraciones extra, tales como el reemplazo de algunos componentes como la chuchilla, el tendido, la bobina y el ventilador, con el propósito de reducir los paros no programados por las condiciones actuales de estos sistemas. De igual manera, se presenta la planeación del mes de las actividades de mantenimiento propuestas, con el objetivo de visualizar gráficamente cuando se realizarán estas tareas, aunado a esto, se hace hincapié que cuando alguno de los componentes llegue a fallar se debe atender esta situación inmediatamente con lo cual se pretende también un mantenimiento correctivo.

La propuesta de mantenimiento expuesta anteriormente se válida a través de un análisis costo-beneficio, la Tabla 3 muestra los costos y beneficios mensuales emanados de esta propuesta. Posteriormente, la ecuación 6 expone que la relación $B/C > 1$, lo que significa que la propuesta es viable. Cabe destacar que, los costos pertinentes de cada uno de los insumos, fueron proporcionados por el director general de la empresa.

PLAN DE MANTENIMIENTO						No. 001																											
Proceso: Elaboración de borra.						Fecha: 23/07/2022																											
Equipo: Máquina Laroche						Realizó: Brenda Lorena Flores Hirdalan																											
Item	Tarea a realizar	Componente	Sistema	Frecuencia	Operador	Mes																											
						L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
1	Afilarse cuchillas	Cuchilla	Cortadora	S	Técnico																												
2	Limpieza	Rodillo de goma	Cortadora	D	Operador 1																												
3	Revisar el tipo de material a cortar (si es licra quitarlo)	Rodillo de goma	Cortadora	D	Operador 1																												
4	Cortar 2 o 3 veces el material, para obtener pedazos más pequeños	Rodillo de goma	Cortadora	D	Operador 1																												
5	Ajustar la velocidad	Tendido	Cortadora	S	Técnico																												
6	Revisar el nivel de aceite	Motor reductor	Cortadora	M	Operador 1 y operador 3																												
7	Revisar las condiciones de la banda del motor reductor	Motor reductor	Cortadora	D	Operador 1																												
8	Revisar las condiciones de la polea del motor reductor	Motor reductor	Cortadora	D	Operador 1																												
9	Apretar tensor	Tensor	Cortadora	S	Técnico																												
10	Cambiar tensor	Tensor	Cortadora	C	Técnico																												
11	Apretar cadenas	Cadenas	Cortadora	S	Técnico																												
12	Apretar conexiones y revisarlas	Conexiones	Interruptor del sistema eléctrico	M	Ing. Enrique Carmona																												
13	Cambiar el sentido de la tambora	Tambora	Cuerpo 1	Cada 30 toneladas	Operador 1 y operador 3																												
14	Ajustar velocidad y revisar parámetro	Rodillo de goma	Cuerpo 1	S	Operador 3																												
15	Capacitación del personal para no exceder el tiempo en que se forma la paca de borra	Bobina	Prensa	S	Ing. Antonio García																												
16	Revisión de nivel de aceite	Pistón	Prensa	M	Ing. Enrique Carmona																												
17	Revisión de empaques	Pistón	Prensa	C	Ing. Enrique Carmona																												
18	Revisión de la presión de la bomba	Pistón	Prensa	M	Ing. Enrique Carmona																												
19	Apretar conexiones y revisarlas	Tablero	Prensa	M	Ing. Enrique Carmona																												
20	Limpieza	Carro	Prensa	D	Operador 3																												
21	Revisar condiciones del tendido	Tendido	Prensa	M	Operador 3																												
22	Limpieza	Ventilador	Cuerpo 4	D	Operador 2																												
23	Inspeccionar condiciones del tendido	Tendido	Máquina en general	D	Operador 3																												
24	Limpieza	Cajones	Máquina en general	D	Operador 2																												
25	Limpieza	Filtros y mangas	Máquina en general	Q	Operador 2																												
26	Revisar velocidades y ajustarlas	Cuerpos	Máquina en general	D	Ing. Antonio García																												
Consideraciones extras																																	
Se requiere comprar una nueva cuchilla (tipo guillotina)																Se requiere comprar una nueva bobina																	
Cada que falle un componente del sistema arreglarlo inmediatamente																Se requiere colocar un ventilador para que enfríe la bobina																	
Se requiere comprar un tendido para la cortadora que tenga relieve																																	
Novedades encontradas		Estado de la tarea										Frecuencia de la tarea																					
		Programado (P)										D - Diaria					S - Semanal					Q - Quincenal											
		Cumplido (X)										M - Mensual					C - Semestral					A - Anual											

Figura 9. Propuesta del plan de mantenimiento preventivo. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Tabla 3. Análisis costo-beneficio. Fuente: Elaboración propia, 2022.

	Costos por mes		Beneficio por mes
Mano de obra	\$ 2.106,00	Aumento en el número de pacas manufacturadas y reducción de los paros no programados	\$ 130.000,00
Capacitación	\$ 312,00		
Material usado para el mantenimiento	\$ 3.000,00		
Total	\$ 5.418,00	Total	\$ 130.000,00

$$\frac{B}{C} = \frac{\$130.000,00}{\$5.418,00} = 23,99 \quad (6)$$

Trabajo a futuro

En los avances posteriores de esta investigación, se plantea realizar una evaluación costo beneficio con el objetivo de conocer que tan viable es la adquisición de una nueva maquinaria que ejecute este mismo proceso, además de realizar una simulación en un software que permita modelar la propuesta de mantenimiento con el propósito de tener una representación del proceso y plantear un escenario futuro. Asimismo, este trabajo sirve como base para el diseño de un programa de mantenimiento preventivo y correctivo para entidades pesqueras en Quintana Roo, pues se pretende utilizar la misma metodología utilizada a lo largo de este estudio para crear un plan de mantenimiento que se acople a las necesidades y permita mejorar la productividad de la región.

Conclusiones

A través de la propuesta presentada en este artículo se expone la manera mediante la cual diferentes metodologías del mantenimiento industrial pueden utilizarse conjuntamente para elaborar un programa de mantenimiento preventivo, específicamente en este caso, se pudo analizar que los métodos TPM y RCM contienen características que permiten elaborar un plan de mantenimiento, basándose en diversas herramientas tales como el OEE, el análisis de criticidad y el AMEF, mediante las cuales se establecieron actividades de mantenimiento capaces de reducir las fallas potenciales identificadas a lo largo de este estudio. Los hallazgos

en este trabajo son relevantes, porque cualquier tipo de organización de este sector puede utilizar esta investigación como base para desarrollar un plan de mantenimiento preventivo acorde a sus necesidades, que le permita plantear diferentes tareas de mantenimiento con el objetivo de reducir los paros no programados en la línea de producción.

Agradecimientos

La autora agradece al Instituto Politécnico Nacional (IPN) y a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA) por su apoyo incondicional para el desarrollo de este artículo de investigación, asimismo, agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada No. 803111, también reconoce el apoyo de la beca BEIFI, la cual, es parte del proyecto de investigación bajo el programa No. SIP20220281.

Referencias

- [1] Agustiady, T. K., & Cudney, E. A. (2018). Total productive maintenance. *Total Quality Management & Business Excellence*, 1–8. <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1438843>
- [2] Azid, N. A. A., Shamsudin, S. N. A., Yusoff, M. S., & Samat, H. A. (2019). Conceptual Analysis and Survey of Total Productive Maintenance (TPM) and Reliability Centered Maintenance (RCM) Relationship. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 530(1), 012050. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/530/1/012050>
- [3] Herry, A. P., Farida, F., & Lutfia, N. I. (2018). Performance analysis of TPM implementation through Overall Equipment Effectiveness (OEE) and Six Big Losses. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 453, 012061. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/453/1/012061>
- [4] Huang, J., & Wang, L. (2018). Makespan minimization on single batch-processing machine considering preventive maintenance. *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, 294–298. <https://doi.org/10.1109/iea.2018.8387113>
- [5] Karuppiah, K., Sankaranarayanan, B., & Ali, S. M. (2021). On sustainable predictive maintenance: Exploration of key barriers using an integrated approach. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1537–1553. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.023>
- [6] Lopes, I. S., Senra, P., Neto, B., Costa, R., Sousa, M., Cabo, T., & Oliveira, J. A. (2017). Multi-criteria classification for prioritization of preventive maintenance tasks to support maintenance scheduling. *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2102–2016. <https://doi.org/10.1109/ieem.2017.8290263>
- [7] Munir, M. A., Zaheer, M. A., Haider, M., Rafique, M. Z., Rasool, M. A., & Amjad, M. S. (2019). Problems and Barriers Affecting Total Productive Maintenance Implementation. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9(5), 4818–4823. <https://doi.org/10.48084/etasr.3082>
- [8] Okwuobi, S., Ishola, F., Ajayi, O., Salawu, E., Aworinde, A., Olatunji, O., & Akinlabi, S. (2018). A Reliability-Centered Maintenance Study for an Individual Section-Forming Machine. *Machines*, 6(4), 50–67. <https://doi.org/10.3390/machines6040050>
- [9] Phogat, S., & Gupta, A. K. (2017). Identification of problems in maintenance operations and comparison with manufacturing operations. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 23(2), 226–238. <https://doi.org/10.1108/jqme-06-2016-0027>
- [10] Pinto, G., Silva, F., Baptista, A., Fernandes, N. O., Casais, R., & Carvalho, C. (2020). TPM implementation and maintenance strategic plan – a case study. *Procedia Manufacturing*, 11(3), 192–204. <https://doi.org/10.24867/IJIEEM-2020-3-26>
- [11] Pinto, G., Silva, F., Campilho, R., Casais, R., Fernandes, A., & Baptista, A. (2019). Continuous improvement in maintenance: a case study in the automotive industry involving Lean tools. *Procedia Manufacturing*, 38, 1582–1591. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.127>
- [12] Sajaradj, Z., Huda, L. N., & Sinulingga, S. (2019). The Application of Reliability Centered Maintenance (RCM) Methods to Design Maintenance System in Manufacturing (Journal Review). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 505(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899x/505/1/012058>
- [13] Suryaprakash, M., Gomathi Prabha, M., Yuvaraja, M., & Rishi Revanth, R. (2021). Improvement of overall equipment effectiveness of machining centre using tpm. *Materials Today: Proceedings*, 46, 9348–9353. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.820>
- [14] Thorat, R., & Mahesha, G. (2020). Improvement in productivity through TPM Implementation. *Materials Today: Proceedings*, 24, 1508–1517. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.470>

Eliminación de fugas en el Transfer Case en línea de Ensamble Automotriz, Complejo Ramos Arizpe.

F. A. Poblano Ojinaga^{1*}, B. Pedroza Fgueroa², A. E. Poblano Ojinaga³, E. R. Pineda Armendáriz⁴, G. D. Estrada Rios⁵

^{1,2,4,5} Departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México, I.T. La Laguna. Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna s/n, Primero de Cobián Centro, 27000, Torreón, Coahuila, México.

³ Departamento de Ciencias Económico-Administrativas, Tecnológico Nacional de México, I.T. La Laguna, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna s/n, Primero de Cobián Centro, 27000, Torreón, Coahuila, México.

*a_poblano@yahoo.com

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

Este proyecto se realizó en la Planta 3 del Complejo Automotriz Ramos Arizpe, enfocándose en la línea de ensamble de AUDI, la cual presentaba 50 rechazos mensuales en el Transfer Case debido a fugas en la prueba de sellado. Ocasionando a la empresa pérdidas mensuales de \$ 15 000.00 USD. El objetivo planteado es reducir en un 85% de las piezas con fugas clasificadas como desperdicio al mes. Se aplicó la metodología DMAIC, determinando que la causa de la fuga era generada por rebabas en los sellos plásticos que lleva colocados la unidad. Se analizaron tres causas principales que tenían mayor afectación al proceso, reduciendo el porcentaje de rechazos conforme se atacaron cada causa, logrando identificar la causa raíz, mediante el análisis del tipo de rebaba y las similitudes con la línea de ensamble. Las acciones implementadas lograron eliminar al 100% los rechazos por fuga en el Transfer Case.

Palabras clave: DMAIC, Fugas, Rechazos, Desperdicio.

Abstract

This project was carried out in Plant 3 of the Ramos Arizpe Automotive complex, focusing on the AUDI assembly line, which presented 50 monthly rejections in the Transfer Case due to leaks in the sealing test. Causing the company monthly losses of \$15,000.00 USD. The stated objective is to reduce by 85% the leaking parts classified as waste per month. The DMAIC methodology was applied, determining that the cause of the leak was generated by burrs in the plastic seals that the unit has placed. Three main causes that had greater affectation to the process were analyzed, reducing the percentage of rejections as each cause was attacked, managing to identify the root cause, through the analysis of the type of burr and the similarities with assembly line. The implemented actions achieved eliminate 100% rejections due to leaks in the Transfer Case.

Key words: DMAIC, leaks, rejections, scraps.

Introducción

Este proyecto se realizó en la Planta 3 del Complejo Automotriz Ramos Arizpe, enfocándose en la línea de ensamble 2 de AUDI. Esta empresa es reconocida por fabricar cualquier parte automotriz, desde asientos hasta sistemas de propulsión, y son los únicos proveedores de automoción que construyen vehículos completos. Es un proveedor líder de la industria automotriz mundial dedicado a ofrecer nuevas soluciones de movilidad y tecnología con capacidades en el diseño de motores, desarrollo, pruebas y fabricación.

Estas capacidades incluyen sistemas de propulsión y de control del chasis, bombas del sistema de propulsión y tecnologías controles, estampados, piezas de fundición, y servicios de ingeniería de motor y vehículos comerciales. Sus productos se pueden encontrar hoy en día en la mayoría de los vehículos.

En esta planta se fabrica el *Transfer Case* (caja de transferencia, Figura 1), en dos versiones, la Tracción en Todas las Ruedas (*AWD o All Wheel Drive*) y Tracción en Cuatro Ruedas (*4WD o Four Wheel Drive*), para darle más fuerza a las llantas. Estas piezas son para los fabricantes de automóviles en todo el mundo.

En la planta de Ramos Arizpe, se tiene como clientes a AUDI, Chrysler, Nissan, Mercedes-Benz, BMW, VW y General Motors, siendo este último el mayor cliente, ocupando aproximadamente el 40% de las ventas. Además, se provee en otras plantas a Toyota, Volvo, Suzuki, Mazda, Hyundai, Ferrari, Honda, Ford, Dodge, Peugeot, Mitsubishi, Buick, entre otros.



Figura 1. Caja de Transferencia (*Transfer Case*),

Para lograr el objetivo planteado en este proyecto, se utilizó la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar) desarrollando un proyecto para detectar la causa raíz de las fugas y poder reducir el porcentaje de rechazo.

Seis sigma o metodología DMAIC es una estrategia de mejora de procesos, centrada en la reducción de la variabilidad de los mismos. La meta es llegar a un máximo de 3.4 defectos por millón de eventos u oportunidades, entendiéndose como defecto cualquier evento en el que un producto o servicio no logra cumplir los requisitos del cliente.

Dentro de los beneficios que se obtienen del seis sigma están: mejora de la rentabilidad y la productividad. Una diferencia importante con relación a otras metodologías es la orientación al cliente.

Seis sigma utiliza herramientas estadísticas para la caracterización y el estudio de los procesos, de ahí el nombre de la herramienta, ya que sigma es la desviación típica que da una idea de la variabilidad en un proceso, y el objetivo de la metodología seis sigma es reducir esta de modo que el proceso se encuentre siempre dentro de los límites establecidos por los requisitos del cliente.

Metodología

Planteamiento del problema

La falla de fugas se presenta en la estación 258 en la línea de ensamble 2 de AUDI, en Planta 3 del Complejo en Ramos Arizpe, Coahuila., teniendo un alto índice de rechazos y este problema se presenta en las dos versiones de *Transfer Case* que se ensamblan en esta línea, es decir, no es exclusivo de un solo modelo.

El problema genera una pérdida estimada de \$15,000 USD mensuales, representando la tercera mayor causa de rechazos para esta línea. La falla se presenta al realizar la prueba de "Fugas", cada vez que el valor supera los 10 ml/min, se considera que la pieza tiene fuga y se clasifica como desperdicio (*scrap*). El objetivo planteado es reducir en un 85% de las piezas con fugas clasificadas como desperdicio dentro de esta línea de ensamble, no tener más de 7 piezas rechazadas al mes.

Etapa Definir.

El primer paso es definir las oportunidades, el alcance, los objetivos y los participantes (Figura 2). En general, en este paso se define lo que se hará y cuál es el resultado esperado al final de la ejecución del ciclo. Una sugerencia importante es: reflexionar sobre las mejoras que se pueden realizar y centrarse en las más relevantes y viables.

El problema está en la planta 3 del Complejo en Ramos Arizpe, específicamente en la línea de ensamble 2 de AUDI, en la estación 258, la cual es la estación donde se realizan las pruebas para detectar fugas en algún sello. El problema no se presentaba en la línea 1 de ensamble, solo en línea de ensamble 2.

Objetivo reducir mínimo el 85% de los rechazos, participando en este proyecto los departamentos de Operaciones, Calidad, Mantenimiento, Ingeniería de Producto y Excelencia Operacional.

Six Sigma Título del Proyecto:		Fugas en RDM en la línea 2 de AUDI				
Información General - Quien						
Champion:	Gabriela Aguirre	Miembros del Equipo:				
Dueño del Proceso:	Emith Cerda	Nombre	Nombre			
Contralor:	Gilmar Estrada	Francisco Delgadillo	Sergio Aguirre			
		Emith Cerda				
		Eduardo Perez				
		Fernando Lopez				
		Gilmar Estrada				
Descripción del Proyecto:						
Alcance y Fronteras del Proyecto:	El alcance del proyecto es unicamente la línea de AUDI 2, quedando fuera la línea de AUDI 1 y la línea de Nissan FDU.					
Proceso a ser mejorado:	Se busca reducir los costos de Scrap por concepto de fugas.					
Y-Negocio y Y-Proceso	Y- Negocio Gastos semanales de Scrap por piezas con fugas en \$3,630.00 USD Y- Proceso Valor especificado en dibujo para fugas 10 ml/min					
Declaración del problema:	Altos costo de Scrap durante el mes de Agosto \$17,820 USD por fugas en RDM´s de la línea de AUDI 2, este problema representa el top 3 en cuanto a costos de Scrap de la línea					
Objetivo del Proyecto:	Reducir en un 85% las piezas que se tiran (Scrap) por valores de fuga mayores a 10 ml/min					
Nivel de Sigma y Ahorros estimados						
Nivel de Sigma		Costo de Pobre Calidad	% Estimado en la reducción del defecto	Ahorros Anualizados		
Sigma Corto Plazo		Gasto				
0.7	Duro:	\$ 188,760	85%	\$ 160,446.00		
	Total	\$ 188,760				
Sigma Objetivo	Suave:	\$ -				
1.5		\$ -		\$ -		
		\$ -				
Calendario estimado del proyecto - Terminación de fases del proyecto						
Fase	Medición	Análisis	Mejora	Control	Validación	Total
Semanas	2	2	2	2	14	22

Figura 2. Carta del Proyecto Fugas en RDM en la línea de AUDI

Etapa Medir.

El objetivo de este paso es recolectar datos e informaciones para analizar y evaluar el escenario actual, preferentemente de forma cuantitativa y estadística, para así establecer bases para las mejoras pretendidas y al final poder comparar el escenario actual con el resultado obtenido y así verificar si las mejoras implantadas fueron satisfactorias.

La falla se detecta en la estación 258 que es la probadora de fugas, la cual funciona en base a tener totalmente sellada la pieza y posteriormente inyectar aire, el cual no debe superar un valor máximo de 10 ml/min, de superar este valor la pieza se vuelve a probar, y si la segunda prueba es negativa, la pieza se rechaza.

Como primera acción se valida el sistema de medición de la línea, la máquina probadora de fugas de la estación, se decide utilizar un análisis de tipo 1 Gage, el cual arroja los siguientes resultados (ver figura 3).

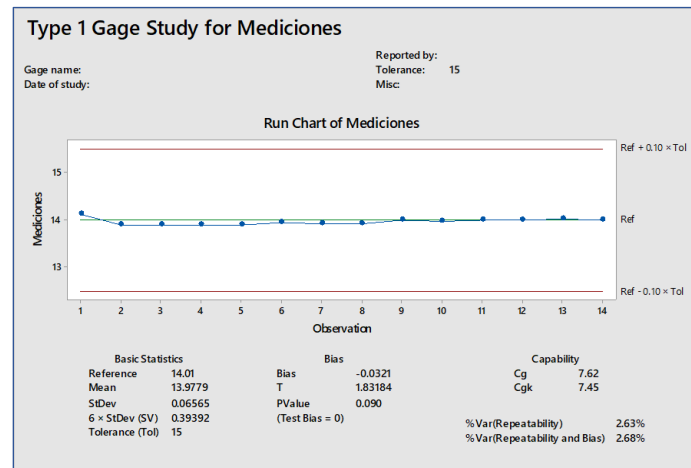


Figura 3. Análisis de mediciones tipo 1Gage.

Sistema de medición muestra un Cg de 7.62 y un Cgk de 7.45, siendo estos valores superiores a 1.33, por lo que se concluye que el sistema de medición es confiable, según este tipo de estudio. El problema NO está en el sistema de medición. El índice de Cg compara las variaciones o errores aleatorios de las mediciones del sistema de medición con un porcentaje de la Tolerancia de Producto. Los valores de Cg iguales o mayores que 1.33 indican que la dispersión de las mediciones del sistema de medición es adecuadamente estrecha en relación con el rango de Tolerancia del Producto. La variación de las mediciones del sistema de medición se obtiene realizando un estudio corto de repetibilidad con el patrón del equipo sobre el sistema de medición. Por lo tanto en este estudio actúan pocas fuentes de errores.

El índice Cgk se utiliza para evaluar la repetibilidad y el sesgo en conjunto. Cgk compara las variaciones o errores aleatorios del sistema de medición con la Tolerancia de Producto, pero también considera los errores sistemáticos. Los datos para su cálculo se obtienen igual que los usados para el Cg. Un valor de Cgk igual o mayor que 1.33 es un valor que muestra un sistema de medición capaz: uno que es tanto preciso (repetibilidad adecuada) como veraz (sesgo adecuado).

Etapa Analizar.

El foco aquí es identificar la causa raíz del problema. Generalmente al analizar un proceso varias posibles causas raíz se identifican, pero la clave para el éxito de este paso es priorizar y validar la causa raíz del problema a tratar. Como resultado de este paso, se espera que se creen oportunidades de mejora.

Siguiendo la metodología se utiliza un diagrama de “Causa y Efecto” (Figura 4) para intentar identificar todas las posibles causas que puedan generar la “Fuga en la pieza”, por lo que se hace con todo el equipo multidisciplinario (Producción, procesos, materiales, ingeniería, mantenimiento y calidad) este análisis causa – efecto.

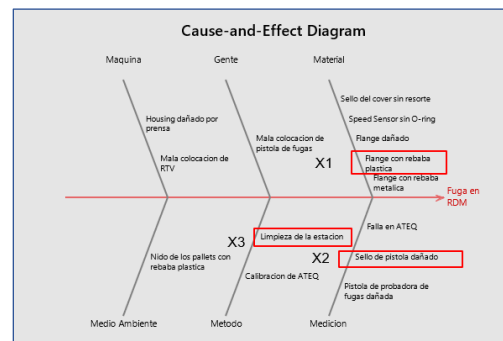


Figura 4. Diagrama Causa y efecto.

Del análisis identificamos 3 potenciales causas del problema:

- X1 Borde con rebaba plástica.
- X2 Sello de la pistola dañado.
- X3 Limpieza de la estación.

La fuga se genera al existir un espacio entre alguno de los 3 sellos que lleva la pieza y las partes internas, lo cual genera que el *Transfer Case* no vaya completamente sellado y sea un riesgo de fuga de aceite al momento de estar operando en un vehículo.

Etapa Mejorar.

Es el momento de trabajar las oportunidades de mejoras identificadas en el paso anterior. Primero debe identificar las posibles soluciones para corregir y evitar la causa raíz del problema, a continuación, se recomienda probar para averiguar si la solución propuesta es efectiva, si no es así, debe ser replanteada; si el resultado de la prueba es prometedor, se debe implementar la acción. Sin embargo, puede que en esta etapa encuentre varias soluciones, no necesariamente todas necesitan ser probadas e implementadas, muchas de ellas sólo pueden ser identificadas y registradas para ser utilizadas en el futuro.

Se realizan acciones para cada una de ellas, buscando eliminar la causa raíz y poder reducir/eliminar los rechazos por fugas.

X3 Limpieza de la estación; se implementan rutinas de limpieza en la estación y estaciones previas, buscando reducir todas las fuentes de contaminación cercanas a los sellos que pudieran generar que pequeñas piezas de basura cayeran en los sellos. Pero esto no elimina el problema, posterior a esta mejora el problema sigue presente.

X2 Sello de pistola dañado; se detecta juego y desgaste en el sello de la pistola que se utiliza para alimentar el transfer con aire y poder realizar la prueba, se definen mejoras para el cambio cíclico de este sello y se evalúan resultados. Pero esto no elimina el problema, posterior a esta mejora el problema sigue presente.

X1 Borde con rebaba plástica; esta potencial causa fue la última en implementarse ya que era la que llevaba más tiempo para su implementación y también implicaba un costo debido a un rediseño de los pallets.

Se encontró que las rebabas plásticas venían en las piezas previas a su ensamble, debido a un desgaste prematuro de los pallets, ocasionado por el tipo de material que no era adecuado para colocar estas piezas y generaban rasgaduras en la base plástica que desprendía las rebabas. Se implementa como acción correctiva el cambiar la base plástica de todos los pallets.

Se define como causa raíz, después de realizar la prueba t de dos muestras para la media después de cambiar el material de los pallets (figura 5).

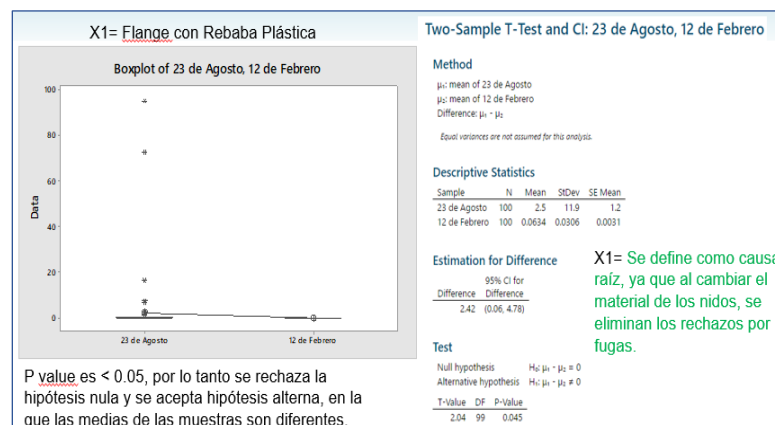


Figura 5. Prueba t de dos muestras para la media.

Posterior a la acción de cambio de pallet, el problema prácticamente se eliminó, superando el objetivo de una mejora del 85%, logrando encontrar la causa raíz. Se obtuvo una mejora absoluta en el proceso de validación de fugas, mejorando la capacidad del proceso, desviación estándar y bajando también los PPM's (ver figura 6).

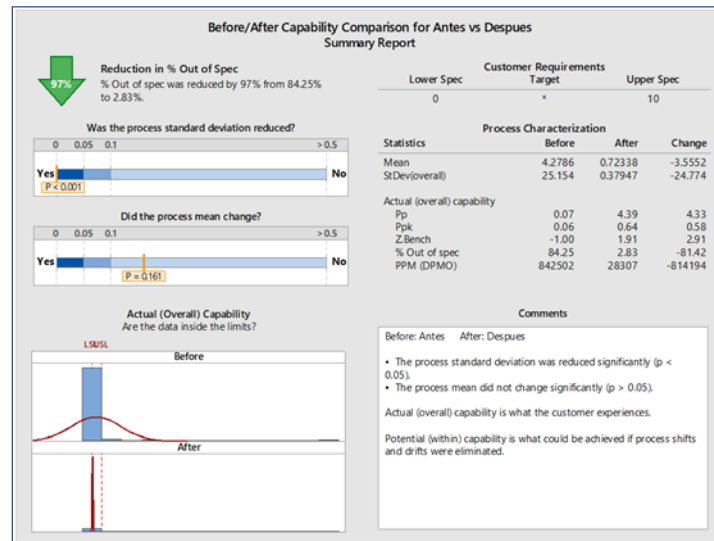


Figura 6. Comparación de Capacidad Antes/Después.

Etapa Control.

El punto de este paso es el del controlar las acciones establecidas en el Plan de Acción. Para ello, es fundamental que usted defina criterios de control como, por ejemplo, lista de verificación, metas y estadísticas para servir como fuente de información para el monitoreo de la implementación de las acciones. Usted debe verificar el desempeño del plan de acción para asegurar que los resultados deseados se alcancen.

Se implementaron rutinas de limpieza para reforzar y reducir al máximo la presencia de rebabas o algún otro tipo de basura cerca de los sellos y se realizó un cambio en el dibujo del pallet con la especificación del tipo de plástico.

La operación quedó dentro de control, se monitoreó por tres meses que las acciones hayan sido contundentes y el haber atacado la causa raíz.

Resultados y discusión.

El objetivo del proyecto era lograr reducir el 85% de los rechazos en la línea de ensamble 2 de AUDI por fugas en la estación 258, logrando como resultado del proyecto eliminar en un 100% los rechazos por esta falla de "Fugas".

Durante los más de seis meses que duró el proyecto se realizaron varias mejoras al proceso, buscando reducir la cantidad de rechazos por fugas en la estación 258 de la línea de ensamble 2 de AUDI en la semana 37 se implementó de forma estándar una rutina de limpieza cada dos horas en todas las estaciones donde interactuaban los tres sellos que van colocados dentro del Transfer Case, esta actividad dio en primera instancia un 40% de mejora en cuanto a los rechazos semanales, sin embargo, después de seis semanas se dio un incremento nuevamente en los rechazos.

Posteriormente se implementó otra mejora definiendo un cambio cíclico del sello de la pistola con la cual se realiza la prueba de fugas, se tiene un efecto positivo y con tendencia a la baja, pero sin eliminar de forma permanente la falla.

Por último se realizó un cambio en el tipo de plásticos, autorizando en el dibujo del pallet con la especificación del tipo de plástico propuesto, en la gráfica de la Figura 7 se observa el efecto de las tres acciones antes mencionadas y como se fue reduciendo para después eliminar los rechazos en el área.

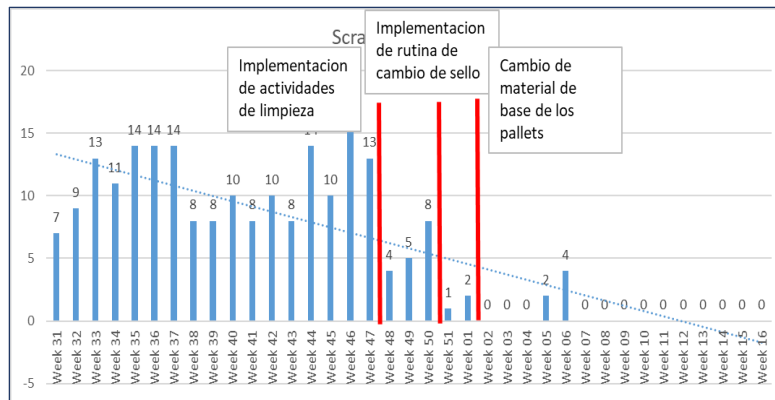


Figura 7. Seguimiento del desperdicio.

El resultado de haber podido eliminar los rechazos por “Fugas”, tuvo beneficios en varios indicadores del proceso y del negocio, los cuales fueron;

- Productividad. El tiempo ciclo para de esta estación es de 48 segundos y el *takt time* de la línea es de 60 segundos, cada rechazo en automático generaba un doble tiempo de ciclo lo cual impactaba en perder una pieza debido a la espera que generaba esta revisión por rechazo.
- Seguridad. El reprocesar las piezas que presentaban fugas, se realizaba en una estación externa a la línea e implicaba desarmar la pieza de forma manual, lo cual genero dos accidentes de seguridad por la caída de material.
- Costo. El mayor impacto fue en el costo, ya que se logró generar un ahorro mensual aproximado de \$15,000 USD, esto solo del costo de tirar la pieza, pero existen más gastos indirectos los cuales también se eliminaron, como pago de tiempo extra, costo de sellos dañados, disposición de *scrap*, entre otros.

Se tuvo un periodo de validación de las acciones de cerca de cuatro meses, en los cuales no se tuvo ningún rechazo por fuga en la línea, esto comprobó que las acciones implementadas atacaron la causa raíz que estaba generando este problema.

Todas las mejoras quedaron documentadas en los formatos estándar de la planta como lo fueron, las rutinas de limpieza, instrucción de cambio de sello de pistola y el cambio en la especificación del dibujo para la fabricación de la base plástica del pallet donde sientan las piezas que hacen contacto con los sellos y generaban las fugas.

Trabajo a futuro

Inicialmente se pretende replicar en la misma Planta 3 del Complejo en Ramos Arizpe, Coahuila, en la Línea de ensamble 1 donde se ensambla el mismo Transfer Case para AUDI y que empezaba a tener un rechazo diario por fugas con un costo estimado de \$ 1 500.00 USD por semana.

Posteriormente se pretende aplicar esta solución en la Línea de ensamble 1 de NISSAN de la Planta 2 dentro del mismo Complejo Automotriz en Ramos Arizpe, que ensambla un Transfer Case similar al de la línea de ensamble 2 de AUDI en la Planta 3. Inicialmente se planea cambiar el tipo de plástico de los aditamentos donde van las piezas, con la finalidad de prevenir posibles rechazos por fugas.

Conclusiones.

Se obtuvieron resultados altamente satisfactorios soportados por el uso de las herramientas Seis Sigma/DMAIC, generando un ahorro para la compañía de casi \$15,000 USD mensuales y de \$180,000 USD anuales. Logrando exceder las expectativas del proyecto las cuales eran como objetivo reducir el 85% de los rechazos en la línea de ensamble (siete rechazos), ya que se tenía un índice de 50 rechazos por mes.

En base a todas las mejoras implementadas y el análisis realizado por parte de todo el equipo colaborativo, se obtuvo una mejora del 100%, eliminando los rechazos en su totalidad, dejando practicas bien definidas, controles claros en el proceso y atacando y eliminando la causas raíz que era el material del cual estaban fabricados los pallets donde van las piezas que se ensamblan en el Transfer Case y que posteriormente al hacer contacto con los sellos de la pieza, se quedaba la rebaba en el sello, ocasionando la fuga.

Al cambiar el material de los pallets por uno más resistente se elimina el problema, asegurando no generar algún daño a las piezas debido a este cambio.

Referencias

- [1] H. Gutiérrez y R. de la Vara. *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. Tercera Edición. México D.F. McGrawHill/Interamericana Editores S.A. de C.V., 2013.
- [2] D. C. Montgomery. *Introduction to statistical Quality Control*. Sexta Edición. United States Of America. John Wiley and sons, 2009
- [3] E. Navarro, V. Gisbert y A.I. Pérez. "Metodología e implementación de Six Sigma". *3C Empresa*. Edición Especial. pp. 73-80. Diciembre 2017. Disponible en <https://www.3ciencias.com/articulos/articulo/metodologia-e-implementacion-six-sigma/>
- [5] H.S. Hitlow. *A Guide to Lean Six Sigma Management Skills*. United States of America. Taylor & Francis Group, LLC. 2009
- [6] Díaz, J. *Metodología Six-Sigma: Calidad industrial*. Emprendices. 2010. Disponible en: <https://www.emprendices.co/metodologia-six-sigma-calidad-industrial/>
- [7] Wikipedia. Seis Sigma. 2022. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Seis_Sigma
- [8] Aguirre F.A. *Método DMAIC: Mejora tu productividad en 5 etapas*. 2020. Disponible en: <https://www.appvizer.es/revista/organizacion-planificacion/gestion-proyectos/dmaic>
- [9] https://es.wikipedia.org/wiki/Magna_International

Mejora del Proceso de Producción en una Empresa Metal Mecánica utilizando Simulación

J. B. Chavez Orozco, S. B. Ramírez Reyna, O. Montaña Arango, J. Medina Marín, J. R. Corona Armenta
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
sramirez@uaeh.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

En esta investigación se estudió y mejoró el proceso de producción de la pieza Roller Detent utilizada en las transmisiones de los automóviles, mediante la aplicación de reingeniería de procesos y simulación, para incrementar las piezas producidas. En el estudio se tomó como referencia la metodología de simulación de sistemas DEGREE de Rossetti, que se aplicó al proceso de elaboración de la pieza, desarrollando 3 modelos de simulación que muestran el incremento en los niveles de producción. Con la simulación y los estudios desarrollados alrededor de esta, se encontraron las principales causas que aquejaban a la empresa, donde el factor humano fue la principal fuente del problema, subsanada con la implementación de una herramienta que sustituyera la acción de los operarios, aumentando la producción un 42%. Además, el modelo de simulación muestra que, con la adquisición de herramientas, esta se incrementaría en un 102% con respecto al primer escenario.

Palabras clave: Reingeniería, Simulación, Sistemas, Manufactura.

Abstract

In this research, the production process of the Roller Detent part used in automobile transmissions was studied and improved, through the application of process reengineering and simulation, to increase the parts produced. In the study, Rossetti's DEGREE system simulation methodology was used as reference, which was applied to the part's manufacturing process, developing 3 simulation models that show the increase in production levels. With the simulation and the studies developed around it, the main causes that afflicted the company were found, where the human factor was the main source of the problem, corrected with the implementation of a tool that replaced the action of the operators, increasing the production 42%. In addition, the simulation model shows that, with the acquisition of tools, this would increase 102% with respect to the first scenario.

Key words: Reengineering, Simulation, Systems, Manufacture.

Introducción

Hoy en día la industria automotriz es uno de los sectores industriales más importantes de México, lo cual resulta fundamental para el desarrollo de la economía, debido a la generación de empleo, el progreso regional y el ingreso de divisas, genera 1 de cada 5 empleos de las industrias manufactureras han sido generados por la industria automotriz, la cual representa 3.8% del Producto Interno Bruto (PIB) y 20.5% del PIB manufacturero de México [1]. México a nivel mundial ocupa el séptimo lugar en la producción de vehículos y automóviles solo por debajo de países como China, Estados Unidos, India, Corea del Sur y Alemania [2].

Dentro de la cadena de valor del sector automotriz las Mipymes se ubican como proveedores de segundo y tercer nivel. Las empresas de segundo nivel se destacan por manufacturar componentes que operan con diseños de las armadoras y operan con estándares de calidad como ISO 9000, las empresas de tercer nivel solo manufacturan productos básicos y estandarizados, que requieren habilidades rudimentarias de ingeniería, para un automóvil específico [3], como se muestra en la figura 1.

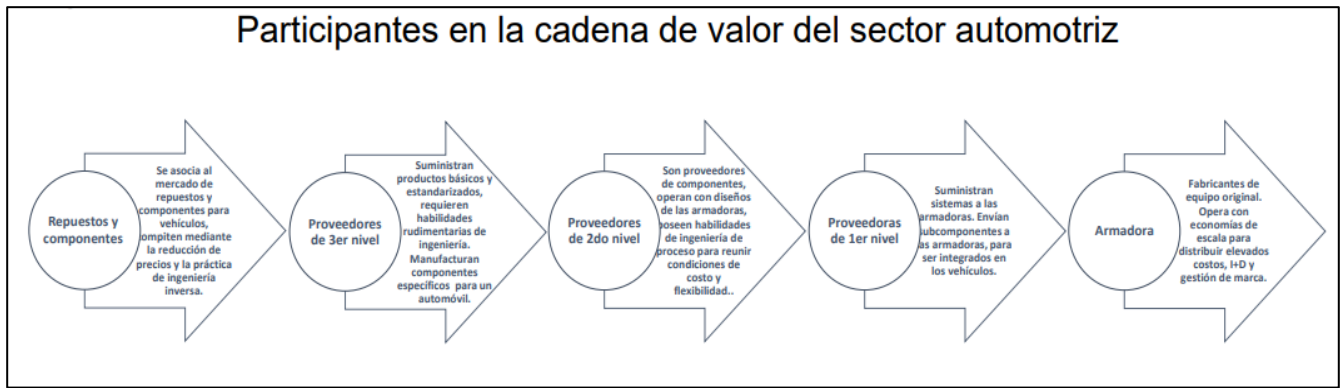


Figura 1. Participantes en la cadena de valor del sector automotriz. Tomado de [3].

En la actualidad debido a los problemas originados por la pandemia ocasionada por el COVID 19, la escasez de los semiconductores y la presión ejercida por el conflicto entre Rusia y Ucrania a este sector, ha exigido más a las empresas relacionadas o dependientes a ser más flexibles, ágiles, competitivas e innovadoras, esto con el fin de continuar siendo rentables.

De tal manera, la reingeniería se ve como una alternativa que permite crear ventajas competitivas contra los demás participantes en el sector, además, ayuda a flexibilizar a la organización y genera mayor valor agregado en el producto, lo que permite tener una diferenciación respecto a la competencia.

Por otra parte, las herramientas de simulación están destinadas a respaldar los procesos de reingeniería y toma de decisiones, evaluar el impacto de los cambios externos e internos, así como dar la pauta para reaccionar de manera oportuna a las influencias críticas en la gestión de la producción [4].

La simulación de sistemas de fabricación ha demostrado ser una herramienta poderosa para su diseño y evaluación, debido a su bajo costo, análisis rápido, bajo riesgo y conocimiento significativo que puede proporcionar, mejorando la comprensión de la influencia de cada componente [5].

El propósito principal de la presente investigación, es aplicar la reingeniería de procesos de producción en una empresa metal mecánica que es proveedora de una empresa automotriz, haciendo uso de la simulación como herramienta de ayuda, que permita generar rediseños para mejorar su proceso de producción.

Es por ello que es importante identificar las áreas de oportunidad, ya que permitirá explotar las fortalezas de la organización para incrementar la eficiencia de la misma, optimizando el rendimiento, disminuyendo los costos y mejorando la calidad tanto en los productos como en el servicio.

Fundamentos Conceptuales

Un pilar fundamental para la elaboración de esta investigación fue la aplicación de los conceptos de reingeniería, sistemas y simulación, los cuales permitieron desarrollar este trabajo.

[6] define la reingeniería como “La revisión fundamental y rediseño radical de procesos para alcanzar mejoras espectaculares en medidas críticas y contemporáneas de rendimiento, tales como costos, calidad, servicio y rapidez”, (su modelo consta de 4 pasos que consisten en:

1. Identificación de los procesos candidatos.
2. Selección de los procesos.
3. Comprender los procesos actuales.
4. Diseño del nuevo proceso.

[7] los objetivos generales que persigue una reingeniería y gestión de procesos son:

1. Mayores beneficios económicos debido tanto a la reducción de costes asociados al proceso como al incremento de rendimiento de los procesos.

2. Mayor satisfacción del cliente debido a la reducción del plazo de servicio y mejora de la calidad del producto/servicio.
3. Mayor satisfacción del personal debido a una mejor definición de procesos y tareas
4. Mayor conocimiento y control de los procesos
5. Conseguir un mejor flujo de información y materiales
6. Disminución de los tiempos de proceso del producto o servicio.
7. Mayor flexibilidad frente a las necesidades de los clientes

Por lo tanto, su modelo de reingeniería con enfoque en la mejora continua es:

1. Mapa de Procesos.
2. Identificación de los procesos clave.
3. Desarrollo de la visión de nuevos procesos.
4. Reingeniería de Procesos.
5. Diseño y prueba de los nuevos procesos.
6. Mejora Continua

Para [8] el modelo que propone es:

1. Establecer pautas.
2. Fase inicial.
3. Lanzamiento.
4. Selección de oportunidades.
5. Rediseño de los procesos.
6. Implantación de la reingeniería.
7. Continuidad de la reingeniería.
8. Reestructuración de la estrategia, criterios y valores de la empresa

Por otra parte, un sistema es un grupo de partes y objetos que interactúan y que forman un todo o que se encuentran bajo una influencia de fuerzas en alguna relación definida [9]. Existen diversos tipos de sistemas, en este caso se está hablando de un sistema artificial, debido a que fue creado por el hombre, pero también cumple con las características de un sistema determinístico, debido a que se conocen los valores de sus parámetros, además de que se puede establecer como un sistema dinámico y discreto, porque cambia en puntos determinados en el tiempo.

Realizar un proceso de simulación se convierte en un elemento importante, ya que en el mundo real existen sistemas en los cuales puede resultar sumamente difícil experimentar, esto se debe a que puede resultar muy costoso, y de alto riesgo para los trabajadores y equipos, por lo que una opción viable es la de modelar el sistema y probar los cambios deseados en el modelo, donde se puede inferir que los resultados obtenidos serán similares en el mundo real siempre y cuando el modelo tenga una fidelidad aceptable [10].

Metodología

En la investigación se utilizó la metodología de DEGREE de [10], la cual se usa para la simulación de sistemas, que se basa en los principios generales para la resolución de un problema mediante un análisis del mismo, la cual se adaptó como se muestra a continuación:

- 1) Definir el problema.

El principal problema detectado fue la baja producción de la pieza Roller Detent, donde para la elaboración de esta pieza se cuenta con una máquina CNC que es utilizada por 3 operarios diferentes, al hacer un conteo de las piezas obtenidas por turno se mostró que el turno matutino era el que menos piezas estaba produciendo.

- 2) Establecer medidas del desempeño.

Para establecer los parámetros necesarios y hacer la evaluación del problema, se desarrolló un estudio de tiempos y movimientos para cada uno de los 3 operarios que controlaban la máquina CNC.

3) Generar soluciones alternativas.

En este paso se analizan las medidas de desempeño. Para el caso se destaca que el principal problema del proceso son los tiempos muertos, que son originados por los operarios, debido a que una vez terminado el proceso de fabricación la máquina se detiene y para iniciar el proceso nuevamente se debe presionar un botón y empujar la barra con la cual se fabrican las piezas.

4) Clasificar las soluciones alternativas.

En este punto se revisaron las diversas opciones generadas y se clasificaron de acuerdo a parámetros determinados por los especialistas del proceso.

5) Evaluar e iterar durante el proceso.

Se realizó la simulación de las soluciones alternativas de acuerdo con la clasificación obtenida para evaluar su desempeño durante el proceso y la capacidad de respuesta ante situaciones comunes e imprevistas.

6) Ejecutar y evaluar la solución.

De acuerdo con la información generada, se selecciona la mejor opción de acuerdo con la simulación efectuada y se realiza una revisión para evaluar los resultados obtenidos en la realización de diversas simulaciones.

El proceso de la elaboración del Roller Detent se estructura de acuerdo a lo mostrado en la figura 2.

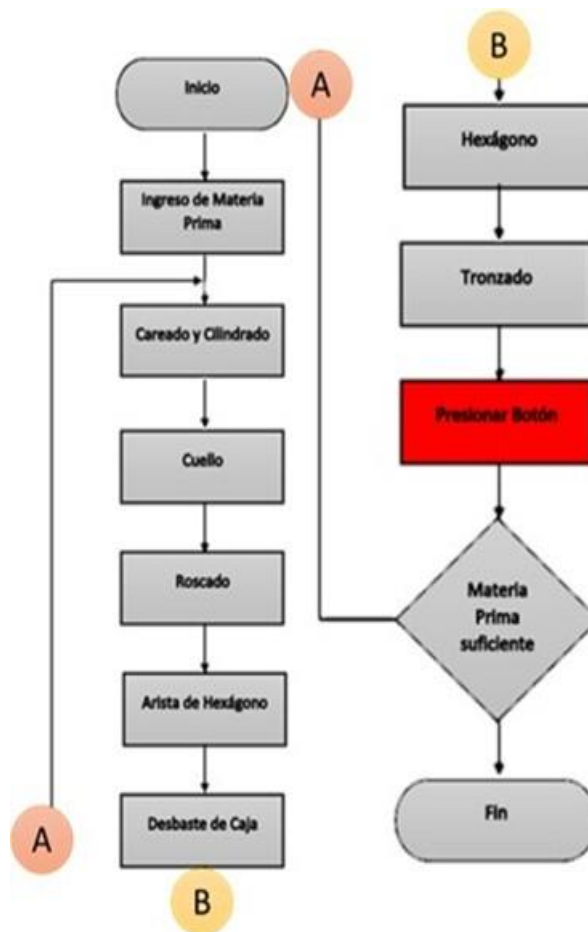


Figura 2. Proceso de elaboración del Roller. Elaboración propia.

Los pasos se describen a continuación:

1. Inicio. Se tiene la máquina en las condiciones óptimas para empezar el trabajo.
2. Ingreso de materia prima. Se ingresa la barra sólida de acero SAE 1045, esta tiene un diámetro de 1 3/8 pulgadas.
3. Careado y cilindrado. En el careado la herramienta de corte retira una capa de material de la superficie de la pieza de trabajo, produciendo una superficie plana perpendicular al husillo, el cilindrado también tiene como propósito retirar una capa de material, pero en este caso se enfoca en reducir el diámetro de la barra.
4. Cuello. Forma el cuello de la pieza.
5. Roscado. Produce la rosca externa de la pieza.
6. Arista de hexágono. Marca las aristas del hexágono en la cabeza de la pieza.
7. Desbaste de caja. Retira una gran cantidad de material a una velocidad elevada para dar forma a la caja interior de la pieza.
8. Hexágono: La herramienta realiza la forma hexagonal de la cabeza de la pieza.
9. Tronzado: La herramienta de corte se desplaza radialmente hacia adentro y separa la pieza de la barra sólida de acero. La pieza terminada se puede observar en la ilustración 2.
10. Presionar botón: Al término de cada pieza la máquina se detiene, esto se debe a que no hay una herramienta que permita jalar la barra, por lo cual el proceso se detiene hasta que el operario oprime un botón que reinicia el ciclo, siempre y cuando el operario empuje la barra.
11. Materia prima suficiente: De las barras de acero se pueden obtener 58 o 79 piezas, dependiendo del largo, este puede ser de 120 cm o 160 cm, dependiendo del proveedor, en la elaboración de una pieza se ocupan 1.9 cm de material y se tiene una merma de 9cm.
12. Fin: Ya no hay materia prima con la cual trabajar.

Resultados

En la validación del modelo se encontró que el tiempo necesario para elaborar una pieza es el que se muestra en la tabla 1. Para efectos prácticos se manejó todo en segundos, por lo cual se tiene un tiempo de proceso de 404 segundos por pieza.

Tabla 1. Tiempos de proceso. Elaboración propia.

Proceso	Tiempo (segundos)	Cambio de proceso (segundos)
Careado y cilindrado	21	21
Cuello	27	5
Roscado	27	6
Arista de hexágono	60	6
Desbaste de caja	58	6
Hexágono	123	10
Tronzado	30	4

Con ayuda del diagrama de proceso se observa que en la elaboración del producto existe un cuello de botella, el cual se encuentra en la actividad de “presionar el botón”. Dicha actividad es realizada por el personal de la empresa, por lo cual la cantidad total de piezas producidas fluctúa en gran medida de un turno a otro. Los tiempos muertos de los diferentes operarios se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Tiempos muertos de operarios. Elaboración propia.

Trabajador	Operario 1	Operario 2	Operario 3
Tiempo Total Empleado (segundos)	1297	1167	8475

Para obtener la validación del modelo con respecto al sistema real se hizo una simulación en el software ProModel y se utilizó una distribución triangular, la cual se obtuvo usando el programa Input Analyzer de Arena, la decisión de utilizar dicha distribución fue porque esta reflejaba resultados muy cercanos a los arrojados por el sistema real.

Una distribución triangular es una distribución continua que se define por sus valores, mínimos, máximos y su moda. La distribución tiene una forma triangular de ahí su nombre. Esta distribución se suele representar de la siguiente manera $T(a,b,c)$, donde a representa el valor mínimo, b el valor máximo y c la moda.

La distribución inicia con el valor mínimo, aumentado hasta alcanzar el valor pico (moda) y luego disminuyendo hasta llegar al valor máximo. La forma del triángulo puede ser simétrica o asimétrica [11].

Para fines de este estudio se realizaron 3 modelos diferentes que se explican a continuación:

Modelo 1: En este modelo se intenta replicar el estado y comportamiento inicial del proceso. Se contemplan las variables más importantes y con mayor impacto en la fabricación del Roller Detent. De esta manera se espera que el modelo tenga una fidelidad aceptable, para inferir como afectarán los cambios efectuados en el modelo al sistema real.

Modelo 2: En este segundo modelo se adapta la primera mejora, esta consiste en eliminar la parte en la que los operarios tienen que presionar el botón de la máquina para iniciar nuevamente con el proceso, para evitar que el operario oprima y tenga que empujar la barra de acero para continuar con el ciclo, para ello se implementará un jalador, con esta herramienta el proceso ya no se verá interrumpido porque al terminar la fabricación de cada pieza, automáticamente el jalador acercará la barra para que las demás herramientas puedan seguir con sus actividades.

Modelo 3: En este último modelo se busca aumentar la velocidad de fabricación, para ello se propone cambiar las herramientas que realizan los procesos de: Roscado, Desbaste de Caja y Hexágono. Las nuevas herramientas permitirían trabajar a mayores revoluciones y por consiguiente reducir el tiempo de fabricación del producto.

En la tabla 3 se aprecian los resultados obtenidos en los 3 modelos realizados.

Tabla 3. Resultados de la simulación. Elaboración propia.

Simulación	Número de piezas elaboradas en 29 turnos	Número de piezas por turno
Modelo 1	1316	45
Modelo 2	1875	64
Modelo 3	2660	91

En el proceso real se elaboraron 1,310 piezas en un tiempo de 29 turnos o 232 horas, lo que da como resultado 45 piezas por turno, en el caso del Modelo 1 se obtuvieron 1316 piezas en el mismo periodo de tiempo y dando las mismas 45 piezas por turno.

En el segundo modelo se puede observar un incremento de 19 piezas por turno y de 559 piezas en el lapso de los 29 turnos. Cabe resaltar que la empresa ya eliminó la actividad "presionar botón" esto gracias al estudio de simulación en el cual observaron la gran cantidad de piezas que no eran fabricadas, esto a consecuencia de los tiempos muertos.

En el último modelo se espera un incremento de 46 piezas por turno y de 1,344 piezas en el lapso de los 29 turnos con respecto al estado actual, de acuerdo a los datos arrojados por la simulación. En el caso real se espera que la empresa pueda adquirir las herramientas necesarias para poder realizar la última fase del estudio y de esta manera tener un incremento considerable en su producción.

Discusión

Se encontraron dos soluciones posibles del problema, la primera incluye agregar un jalador que evitaría el paro del proceso al término de una pieza, lo que generaría una eliminación de tiempos muertos, y la segunda alternativa contempla el cambio de 3 herramientas de proceso, para hacer más rápida la fabricación de la pieza.

Al momento de buscar la distribución estadística que más reflejará la realidad del sistema que se estaba estudiando, se evaluaron diversas distribuciones, entre ellas la normal, exponencial, weibull, binomial y triangular. Al final se incorporó la distribución triangular porque de esta forma el modelo representaba una manera muy cercana al sistema real, lo que permitiría inferir posteriormente que cualquier cambio aplicado en el modelo se reflejaría de manera similar al proceso observado.

En este caso sólo se pudo implementar una de las dos alternativas propuestas para la organización, se decidió o que la implementación de un jalador era la mejor alternativa, de este modo el proceso ya no se detendría cada que se finalizará una pieza, y podría trabajar de forma ininterrumpida en cada turno. La segunda propuesta requería de una inversión considerable, con la cual desafortunadamente no se contaba, por lo que, por el momento no se puede implementar.

Conclusiones

La aplicación de la reingeniería haciendo uso de simulación permitió detectar los puntos más críticos que se tenían en el proceso, esto permitió que se pudiera buscar una alternativa que aumentara la cantidad de piezas fabricadas en el mismo periodo de tiempo.

Como resultado de la simulación, se obtuvo que la productividad se podía incrementar con un 42.47% si se seleccionaba la implementación de un jalador, evitando así la mayoría de los tiempos muertos producidos por los operarios.

Aunado a eso, debido a que el estado actual de las herramientas con las que se lleva a cabo la fabricación del Roller Detent tienen una cierta cantidad de horas de uso, estas tienen complicaciones al momento de funcionar, por lo que inciden en la generación de inconvenientes en las piezas terminadas, afectando su producción, lo que se puede solventar con la adquisición de herramientas nuevas, así como con la ayuda de la primera mejora (implementación del jalador), lo que permitiría conseguir otro incremento importante con respecto a la tasa de producción, aumentando cerca de un 102.12% con respecto a la tasa inicial.

Con dichas mejoras el fabricante podría cubrir la demanda de piezas solicitadas por el cliente en un menor tiempo, de forma tal que podría buscar aumentar la cantidad de piezas asignadas por este o buscar otros clientes, a fin de sacar el mayor beneficio de la máquina.

Referencias

- [1] A. Sánchez. (12 de abril, 2020). Solicita industria automotriz ser considerada como esencial para reanudar operaciones ante COVID-19 [On line]. Available: <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/solicita-industria-automotriz-ser-considerada-como-esencial-para-reanudar-operaciones-ante-covid-19/>.
- [2] Equipo de redacción de Drew. (31 de mayo, 2022). Estado de la industria Automotriz en México 2022 [On line]. Available: [Estado de la industria automotriz en México 2022 \(wearedrew.co\)](https://www.wear drew.co/estado-de-la-industria-automotriz-en-mexico-2022/).
- [3] Chávez, E., Guerrero, C. y Jiménez, O. "Las Mipymes del sector automotriz en México, a partir de las cadenas globales de valor en el marco del T- MEC", Revista Universitaria Digital de Ciencias Sociales, vol. 11, no. 21, Julio-diciembre 2020
- [4] S. Weyer, T. Meyer, M. Ohmer, d. Gorecky and D. Zuhlke. Future Modeling and Simulation of CPS-based Factories: an Example from the Automotive Industry, IFAC-Paper on line, vol. 49, no. 31, pp. 97-102, 2016.
- [5] D. Mourtzis. "Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state of the art and new trends", International Journal of Production Research, vol. 58, no. 7, pp. 1927-1949, 2020
- [6] M. Hammer, y J. Champy. Reingeniería. Bogotá, Colombia: Norma S.A., 1994.
- [7] E. Navarro. Gestión y reingeniería de procesos Improven Consultores, <http://www.improvenconsultores.com/paginas/documentosgratuitos/gestionreingenieria.php>. 18/11/2020. 2003.
- [8] J. Alarcón. Reingeniería de procesos empresariales. Madrid, España: Fundación CONFEMETAL, 2004.
- [9] O. Johansen. Introducción a la Teoría General de Sistemas. México, D.F.: LIMUSA, 1993.
- [10] M. Rossetti. Simulation Modeling and Arena. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2021.
- [11] E. García, H. García y L. Cárdenas. Simulación y Análisis de Sistemas con ProModel. México: Pearson, 2013.

Análisis económico del anteproyecto: creación de un área verde para la captura de carbono

N. Melena Torres¹, J. Garnica González^{2*}, M. R. Maimone Celorio¹, J. Carro Suárez³
¹Universidad Popular Autónoma del estado de Puebla, ²Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y ³Universidad Politécnica de Tlaxcala
*jgarnica@uaeh.edu.mx

Área de participación: Ingeniería industrial

Resumen

El crecimiento de la industria del vestido e incremento de sus emisiones de gases de efecto invernadero de 2.7%, genera la necesidad de crear y evaluar proyectos para la mitigación de los impactos ambientales. Este trabajo de investigación aplicada genera los antecedentes justificatorios para comprobar la viabilidad económica de un anteproyecto de inversión en un área verde para captura de carbono, con el objetivo de determinar la viabilidad del anteproyecto realizando un análisis económico, para la toma de decisiones. Se contabilizaron los costos de inversión y mantenimiento y los beneficios del anteproyecto, calculando y evaluando los indicadores a precios constantes con una tasa de rendimiento del 21.15%. Dando como resultado un tiempo de recuperación de la inversión, menor a 2 años. Se obtiene un Valor Presente Neto de \$547,944.61, una Tasa Interna de Rendimiento de 54.27% y una relación de costo-beneficio de 1.43, concluyendo que es viable y factible.

Palabras clave: Área verde, Captura de carbono, Análisis económico,

Abstract

The growth of the clothing industry and their Greenhouse Gasses emissions generates the need to create and evaluate projects for the mitigation of environmental impacts. This applied research work generates the justificatory background to verify the economic analysis of a preliminary investment project in a green area for carbon capture, the objective pursued is to determine the viability of the preliminary project through economic evaluation, towards the taking of smart decisions. The investment and maintenance costs and the benefits of the preliminary project were accounted for, calculating and evaluating the indicators at constant prices with a rate of return of 21.15%. Resulting in an investment recovery time of less than 2 years. A Net Present Value of \$547,944.61, an Internal Rate of Return of 54.27% and a cost-benefit ratio of 1.43 are obtained, concluding that it is viable and feasible.

Key words: Green area, Carbon capture, Economic analysis,

Introducción

El efecto invernadero ocurre de manera natural y garantiza la existencia de la vida en la tierra, sin embargo, las actividades antropogénicas han contribuido al aumento de las concentraciones de estos gases, lo que genera un incremento de la temperatura de la tierra [1].

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), los gases de efecto invernadero (GEI), son: Dióxido de carbono (CO₂), generado principalmente por la quema de combustibles fósiles y puede ser eliminado o absorbido por las plantas como parte del ciclo biológico del carbono; metano (CH₄), es generado en prácticas ganaderas y agrícolas; óxido nitroso (N₂O), liberado a la atmósfera por actividades agrícolas e

industriales; y los llamados gases fluorados, son GEI sintéticos producidos en diversos procesos industriales [2].

De los gases mencionados, se estima que el principal causante del calentamiento global es el CO₂ debido a su concentración que se ha duplicado desde la revolución industrial, sin embargo, el impacto de cada gas dependerá de también de su potencial de calentamiento global [3]. Entre los efectos se encuentran: a) Aumento de la temperatura media global; b) Reducción de los glaciares de montaña; c) Aumento de la temperatura del océano; d) Aumento del nivel del mar; e) Extinción de especies vegetales y animales, entre otros [3].

A partir de la década del año 2000, la fabricación de prendas de vestir se ha duplicado, debido principalmente al aumento de la población y al aumento de la demanda en las economías desarrolladas, además del crecimiento de las marcas de “moda rápida” [3], [4]. Se estima que, en 2018, la industria de la moda y el vestido produjeron emisiones cercanas a 2,100 millones de toneladas de GEI, lo que equivale al 4% del total mundial, con una tasa de aumento de 2.7% anual hasta el año 2030, si no se toman medidas para su mitigación. Alrededor del 70% de esas emisiones provienen de los procesos de producción, preparación y procesamiento de telas y un 30% de las actividades de empaque, transporte, uso y disposición final de las prendas [5].

Derivado de los impactos por las emisiones de GEI, se vuelve imprescindible tomar medidas para su mitigación, partiendo de conocer la situación actual, cuantificando las emisiones de GEI, para plantear los objetivos y estrategias de reducción y su evaluación [3].

Las áreas destinadas a la captura de carbono son una forma de mitigación del cambio climático, el mercado de bonos de carbono existe en dos vertientes, por un lado, se encuentra el cumplimiento, en el cual, países o empresas pagan cuando superan los límites máximos de GEI que pueden emitir a la atmósfera, y por otro lado, de manera voluntaria las empresas u organizaciones que pretenden adquirir certificados o aumentar su valor de responsabilidad social, adquieren bonos de carbono para comprobar su contribución en la mitigación de sus impactos, buscando compensar sus emisiones anuales de GEI [6]. La creación de áreas verdes en las empresas tiene además ventajas como la colaboración con los insectos polinizadores, mejoramiento de la imagen de la empresa, así como de la percepción social, y el bienestar de los trabajadores que se traduce en el mejoramiento de la salud física y emocional de los empleados, así como las relaciones laborales, reflejándose en un mejoramiento del clima organizacional y un aumento de hasta 15% en la productividad, ya que según autores brinda un espacio imparcial para la resolución de conflictos entre los trabajadores, así como un espacio de relajación y disminución del estrés [7], [8].

Al realizar un análisis económico de un anteproyecto, se clasifican y valorizan los beneficios y costos de una inversión, desde ámbitos públicos o privados, sociales, ambientales o de negocios con fines de lucro, aportando así elementos para argumentar su viabilidad económica, en las dimensiones sociales, económicas y ambientales [9].

El análisis económico brinda información valiosa para las decisiones sobre la continuación del anteproyecto, con base en los cálculos financieros, aplicando herramientas y técnicas de contabilidad, y matemáticas [9]. El valor presente neto (VPN) es la suma de los flujos de efectivo calculados de forma equivalente en el mismo momento del tiempo, para que el anteproyecto sea viable, el valor presente neto debe ser mayor a 0, lo que significa que las ganancias son mayores que los costos, por otro lado la tasa interna de rendimiento (TIR), es la tasa interna de retorno que iguala el VPN a cero, esta debe ser mayor a tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR), es decir la tasa a la que el anteproyecto es evaluado [8], [9].

Por todo lo descrito, el objetivo de esta investigación, es determinar la viabilidad económica del anteproyecto de creación de un área verde para la captura de carbono, a través de su análisis económico y financiero, para argumentar la decisión de la continuación o abandono del proyecto. El presente trabajo se realiza bajo los términos y condiciones de una empresa de la industria del vestido, sin embargo, aun cuando se encuentra en cumplimiento con las normas vigentes mexicanas

de emisiones a la atmósfera y en materia de descargas, la dirección desea contribuir al desarrollo sustentable de la empresa y la relación con sus trabajadores y la comunidad, teniendo como alcance solo los gastos de energía eléctrica, consumida en su proceso de producción, donde no se incluyen gastos de otros recursos energéticos como por ejemplo de transporte o logística fuera de la planta, se plantea la creación de un área verde de 280 m², propiedad de la misma empresa para que sirva a la captura de carbono y como área de recreación.

Metodología

En términos generales se basa en la Metodología FEL (Front-End Loading) y tiene como alcance la primera fase, que consiste en la Identificación de la oportunidad o análisis de factibilidad. Donde se identifica la oportunidad, los alcances y objetivos del anteproyecto, se estima el monto de la inversión, calculando los principales indicadores de viabilidad como el VPN, la TIR, el PRI entre otros.

Zona de estudio

El anteproyecto evaluado propone la creación de un área verde, con el fin de mitigar los impactos ambientales derivados del consumo de energía eléctrica de una empresa del giro textil y del vestido, que sirva además como un espacio de esparcimiento y relajación para los trabajadores de la empresa y la comunidad en general, así como la realización de actividades al aire libre, con la incorporación de mobiliario urbano e iluminación con energía solar. La planta de producción de dicha empresa se encuentra ubicada en el municipio de Zempoala en el estado de Hidalgo, México.

Las principales actividades económicas del municipio de Zempoala son la agricultura, ganadería y minería de arena y cascajo, su vegetación está compuesta principalmente por Matorral, bosque y pastizal, el suelo es de tipo semidesértico, rico en materia orgánica y en nutrientes [9]. Su clima es templado-frío, con temperatura media anual de 14.3°C., con precipitaciones de 494 milímetros al año. La flora de la región está compuesta principalmente por vegetación arbustiva de diversos tipos, cactáceas, árbol de pirú y capulí y diversas especies de hierbas pequeñas. En cuanto a flores se pueden encontrar flores de calabaza, de maguey y de palma [10], [11].

La fauna de la región se compone por mamíferos como la ardilla, liebre, el coyote, la tuza, el hurón, zorrillo y roedores de campo; además, aves como patos, tordos, golondrinas y colibríes; arácnidos como viuda negra y araña manchada de jardín; reptiles como víbora de cascabel cencuates; así como ranas, camaleones el tlacuache y murciélago [11].

El terreno que se propone acondicionar como área verde, consta de 280 m², con acera en dos de sus cuatro lados irregulares, se trata de un área libre con un máximo de 8 cm de diferencia entre su parte más alta y la más baja, es decir que cuenta con una pendiente no mayor a 3%. Se encuentra desmontado y solo cuenta con 3 pirules que no se plantea su remoción, por lo que no requiere gran trabajo de habilitación y se considera un espacio adecuado para la creación de un área verde.

Materiales

La calculadora de Equivalencias de Gases de Efecto Invernadero de la EPA es una herramienta útil para conocer las equivalencias de GEI generadas y establecer estrategias de reducción de los mismos, permite calcular los datos de emisiones o de consumo de energía en equivalencias de CO₂ tomando como base la tasa de emisiones de CO₂ anual de los Estados Unidos en 2019 [12].

La empresa del giro textil y del vestido, objeto de éste estudio, tuvo un gasto de energía eléctrica en el año 2021 de 83,965 kw/h, que de acuerdo con la calculadora de EPA, genera 36.3 toneladas métricas de dióxido de carbono (CO₂).

Método de Cálculo del carbono secuestrado

Para el cálculo de la captura de carbono secuestrado por la vegetación propuesta, se empleó el procedimiento planteado por M. Rüginitz, M. Chacón y R. Porro en su trabajo “Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades”, en la cual proponen una metodología indirecta, es decir no destructiva [13].

Para la determinación de la cantidad de carbono contenida en una especie es necesario calcular la biomasa de la misma, partiendo de la relación biomasa- carbono-dióxido de carbono, la cual establece que una tonelada de carbono (1 t) equivale a 3.67 toneladas de CO₂, a su vez que una tonelada de biomasa forestal equivale a 0.5 toneladas de carbono aproximadamente. Para calcular la biomasa, se requiere:

- a) Conocer la densidad básica de cada especie, el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura del árbol (h).
- b) Con dichos datos es posible calcular el volumen del fuste del árbol
- c) Se multiplica el volumen del árbol por la densidad básica de la especie, dando como resultado la biomasa del árbol medido.
- d) Finalmente, la biomasa se multiplica por el factor de contenido de carbono (0.5) y por el factor de fijación de carbono (3.67) [13].

Análisis económico de la propuesta de mitigación

La evaluación financiera del anteproyecto se realiza siguiendo la metodología propuesta por Baca Urbina [9], bajo las siguientes consideraciones:

- a) El diseño del área verde tiene una vida útil calculada en 50 años.
- b) Se toma como tasa de interés la suma de la tasa libre de riesgos en México para el año 2022 como la tasa de riesgo (equivalente al 3.58%) [14], más una tasa de inflación anualizada (igual a 8.16%) [15] más la tasa de rendimiento del valor de los CETES a 357 días del año 2022 en México (es decir 9.41%) [16].
- c) Se realiza el cálculo del VPN y TIR bajo las condiciones de precios constantes y siguiendo el procedimiento propuesto por Baca-Urbina, calculando el valor presente neto (VPN), la Tasa interna de rendimiento (TIR), costo- beneficio del anteproyecto y finalmente periodo de recuperación de la inversión [9].
- d) De acuerdo con el banco mundial el valor por tonelada de CO₂ en 2020 está establecido entre USD 40 y USD 80, con una predicción de entre USD 50 y USD 100 por bono de carbono para 2030, por lo que para el presente trabajo se considera un precio de USD 50 a precios constantes por la vida del anteproyecto [17].
- e) Se considera un ingreso por el incremento de la utilidad bruta de la empresa del 2% a razón del incremento a la productividad, debido a que se ha demostrado en estudios como los referenciados ([7] y [8]), un incremento de hasta el 15% en la productividad, puesto que favorecen a la resolución de conflictos a través del dialogo, así como un espacio de relajación y disminución del estrés.

De acuerdo con Baca Urbina [9], para realizar un análisis económico se propone la indagación de todos los costos (de producción, administrativos, ventas, financieros) y todos los ingresos, la estimación de la inversión fija o diferida y el costo capital, para calcular un estado de resultados.

Fórmulas empleadas

En la evaluación económica, Baca Urbina [9] propone la ecuación 1 para calcular el VPN del proyecto, también se considera para el cálculo de la TIR.

$$VPN = -I + \frac{Fe_1}{(1+i)^1} + \frac{Fe_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{Fe_n + VS}{(1+i)^n} \quad (Ec. 1)$$

Donde:

VPN= Valor presente neto.

I=Inversión inicial

F_e = Flujo de efectivo

i = interés al que se evalúa el proyecto.

VS= Valor de salvamento

En éste trabajo se propone el método de costo beneficio como parte del análisis debido a que es un método utilizado cuando no es necesario que el proyecto sea económicamente rentable, ya que tiene otros beneficios sociales implícitos. Se trata de el cociente todos los costos del proyecto entre todos los beneficios que se van a obtener (ver ecuación 2)

$$\text{Costo - Beneficio} = \frac{\text{Flujo neto de efectivo}}{\text{Costos totales}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Por otro lado, el periodo de recuperación de la inversión (PRI), se calcula empleando la fórmula del reembolso que se muestra en la ecuación 3.

$$PRI = a + \left[\frac{(I_0 - b)}{F_t} \right] \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

a = Número del periodo que precede al periodo en el que se cubre la inversión inicial.

I_0 =Inversión inicial.

b = Suma de los flujos de caja hasta llegar al periodo "a".

F_t = Sumatoria de los flujos de caja hasta llegar al periodo de consolidación de la inversión.

Resultados y discusión

Especies recomendadas para el área verde

De acuerdo con la flora, fauna, precipitaciones y clima existentes en la región, de forma nativa, se hacen algunas recomendaciones de la flora adecuada, especies de flores (4 especies), árboles (2 especies) y cactáceas (5 especies) (Ver tabla 1).

Tabla 1. Especies recomendadas de acuerdo con las características de la región.

Especie	Características	Distribución en México
<i>Erigeron karvinskianus</i>	Flor nativa, generalmente se extiende sobre rocas [18]	Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Puebla, entre otros [18]
<i>Eupatorium pycnocephalum Less</i>	Flor conocida como mejorana, se presenta en una variedad de hábitats muy amplia, tiene propiedades medicinales [19]	Hidalgo, Aguascalientes, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Guanajuato, Guerrero, entre otros [19]
<i>Melampodium perfoliatum</i>	Flor anual, florece agrupándolos a los extremos de las ramas [20]	La mayor parte de México, excepto en la península de baja california y Yucatán [20]
<i>Sedum moranense Kunth</i>	Nativa del centro de México, se encuentra en sitios rocosos como pedregales, peñas, y taludes de carreteras [21]	Coahuila, Distrito Federal, Estado de México, Hidalgo, Jalisco, Puebla y Veracruz [21]
Magüey pulquero	Llega a medir hasta 3 metros de altura con 10 metros de circunferencia [22]	Hidalgo, Tlaxcala, Estado de México y Puebla [22]
Nopales	Se conocen cerca de 220 especies y en México existen entre 60 y 90 [23]	En toda la república [23]

<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	Conocida como cactus de garambullo [24]	Es cultivado en el Estado de México, Hidalgo, Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí [24]
<i>Capulín</i>	Su fruto es carnoso, pequeño, negro rojizo en la madurez y de sabor agridulce [25]	Hidalgo, Morelos, Puebla, Estado de México, entre otros [25]
<i>Yucca filifera</i>	Conocido como capulín, planta arborecente, perteneciente a la familia de las agaváceas [26]	Tamaulipas, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Michoacán, entre otros [26]
<i>Prosopis laevigata</i>	El mezquite es considerado un recurso natural muy importante para las zonas áridas y semiáridas, debido a los diferentes usos [27]	Hidalgo, Michoacán, Oaxaca, Nuevo León, Tamaulipas, y el norte de Veracruz [27]
<i>Fraxinus uhdei</i>	Conocido como fresno, Árbol perennifolio o caducifolio, de 15 a 20 m (hasta 30 m) de altura y con un diámetro a la altura del pecho de hasta 1 m [28]	Hidalgo, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, entre otros [28]

Cálculo de captura de carbono de cuatro especies de árboles

La tabla 2 muestra los cálculos realizados para conocer la fijación de carbono por especie de árbol, resaltando que los 3 árboles pirules no están incluidos en las recomendaciones, sin embargo, ya se encuentran en las inmediaciones de la empresa y no se plantea su extracción, como muestra la tabla, se obtiene un promedio de 36.8 toneladas de CO₂.

Tabla 2. Cálculos de la fijación de carbono

Nombre	Cantidad	Altura (m)	DAP (m)	Volumen (m ³)	Densidad (Kg/m ³)	Biomasa (Kg)	Fijación de CO ₂ (Kg de CO ₂)	Total
<i>Fraxinus uhdei</i>	1	10m	0.50m	1.9635	510	1001.385	1,837.54148	1,837.54148
<i>Pirul</i>	3	5m	0.25m	0.2454	540	132.53625	243.204019	729.612056
<i>Yucca filifera</i>	3	10m	0.9m	6.3617	500	3180.87	5,836.89645	17,510.6894
<i>Prosopis laevigata</i>	2	15m	0.7m	5.7727	790	4560.4251	8,368.38006	16,736.7601
Total						16,286.022	36,814.603	

Análisis económico del anteproyecto

Los costos de inversión y mantenimiento se desglosan en la tabla número 3, el anteproyecto contempla la instalación de mobiliario urbano, siembra de diversas especies de plantas, la habilitación del terreno y los costos de mantenimiento.

Tabla 3. Costos de inversión y mantenimiento

Concepto	Costo
Costo de las plantas	\$ 1,611.59
Costo de materiales de construcción	\$ 150,336.00
Costos de mano de obra	\$ 23,620.00
Mobiliario urbano	\$ 163,376.00
Diseño y arquitectura del paisaje	\$ 15,000.00
Terreno	\$70,000.00
Total inversión inicial	\$ 423,943.59
Personal de mantenimiento	\$ 60,000.00
Herramientas y equipo	\$3,400.00
Costos anual de mantenimiento	\$ 63,400.00

Personal de mantenimiento	\$ 60,000.00
Reemplazo de luminarias	\$5,000.00
Pintura y mantenimiento del mobiliario urbano	\$10,000.00
Herramientas y equipo	\$639.00
Costos de mantenimiento a 10 años	\$ 75,639.00

Una vez conocidos los egresos y la inversión inicial, el paso siguiente es conocer los ingresos, en los que se considera un ingreso por el aumento de productividad gracias al espacio de esparcimiento y descanso para los trabajadores, del 2% sobre la utilidad bruta de la empresa en el año 2021, además se incluye un ingreso por el valor de las toneladas de carbono capturado, con un precio de mercado de USD 50 por bono.

Tabla 4. Ingresos por captura de CO₂ y por incremento de la productividad

Concepto	Valor	Ingresos
Utilidad bruta de la empresa en el año 2021	\$13,172,626.70	
Porcentaje de aumento por productividad	2%	
Ingreso por productividad		\$ 262,452.53
Precio por bono de carbono USD 50H	\$1,021.50	
Toneladas de carbono capturado	36.81	
Ingresos por bonos de carbono		\$ 37,591.20
INGRESOS ANUALES TOTALES		\$ 301,043.73

Se representa un flujo de caja anual a un horizonte de 50 años, con ingresos anuales, egresos anuales y un egreso cada 10 años para el mantenimiento correctivo por el reemplazo de luminarias de acuerdo con su vida útil [29] y rehabilitación del mobiliario urbano, además se establece como valor de salvamento el valor del terreno, y que éste no sufre devaluación a través el tiempo. (Ver tablas 5).

Tabla 5. Flujos de caja del anteproyecto anual

Año	Ingreso	Egreso	Flujo de caja
1	-	\$ 423,943.59	- \$ 423,943.59
2	\$ 301,043.73	\$ 70,963.90	\$ 230,079.83
3	\$ 301,043.73	\$ 70,963.90	\$ 230,079.83
4	\$ 301,043.73	\$ 70,963.90	\$ 230,079.83
5	\$ 301,043.73	\$ 70,963.90	\$ 230,079.83
6	\$ 301,043.73	\$ 70,963.90	\$ 230,079.83
7	\$ 301,043.73	\$ 70,963.90	\$ 230,079.83
8	\$ 301,043.73	\$ 70,963.90	\$ 230,079.83
9	\$ 301,043.73	\$ 70,963.90	\$ 230,079.83
10	\$ 301,043.734	\$ 70,963.9	\$ 230,079.83
20	\$ 301,043.734	\$ 70,963.9	\$ 230,079.83
30	\$ 301,043.734	\$ 70,963.9	\$ 230,079.83
40	\$ 301,043.734	\$ 70,963.9	\$ 230,079.83
50	\$ 301,043.734 + \$ 70,000.00	\$ 70,963.9	\$ 300,079.83

El VPN se obtiene sumando todos los flujos de efectivo como se aprecia en la ecuación 4.

$$VPN = -\$423,943.59 + \frac{\$230,079.83}{(1 + 0.2115)^1} + \frac{\$230,079.83}{(1 + 0.2115)^2} + \dots + \frac{\$230,079.83 + \$70,000}{(1 + 0.2115)^{50}} \quad (Ec. 4)$$

$$VPN = \$547,944.61$$

La TIR se obtiene empleando la misma fórmula, sin embargo, ésta vez se conoce el valor de VPN que es igual a 0.

$$0 = -\$423,943.59 + \frac{\$230,079.83}{(1+i)^1} + \frac{\$230,079.83}{(1+i)^2} + \dots + \frac{\$230,079.83 + \$70,000}{(1+i)^{50}} \quad (Ec. 5)$$

$$TIR(i) = 54.27\%$$

El cociente costo-beneficio se calculó como se muestra a continuación:

$$Costo - Beneficio = \frac{\$230,079.83}{\$160,621.85} = 1.43 \quad (Ec. 6)$$

Por último, el PRI se calculó empleando la fórmula del reembolso como muestra la ecuación 7.

$$PRI = 2 \text{ años} + \left[\frac{(\$423,943.59 - \$230,079.83)}{\$230,079.83} \right] = 1.84 \text{ años} \quad (Ec. 7)$$

En la tabla 6, se muestra el valor presente neto del flujo de caja, así como el beneficio anual equivalente, la tasa interna de retorno y la relación costo beneficio, para evaluar la prefactibilidad de anteproyecto, además la tabla muestra la estimación del periodo de recuperación de la inversión (PRI).

Tabla 6. Resultados de indicadores económicos y financieros

VPN	TIR	Relación Costo-Beneficio	PRI
\$ 547,944.61	54.27%	1.43	1.84 años

De acuerdo con Baca-Urbina [9], ya que la VPN del anteproyecto es mayor a cero, es posible continuar con la elaboración del proyecto, así mismo, debido a que la TIR es mayor que la tasa mínima aceptable de rendimientos, o la tasa con la que el anteproyecto fue evaluado, es posible decir que el anteproyecto presentado es factible y económicamente viable.

Trabajo a futuro

En éste trabajo se presenta una evaluación a precios constantes, por lo que constituye un trabajo futuro realizar la evaluación a precios corrientes con la finalidad de comparar ambas evaluaciones y determinar si hay variación en los indicadores de forma significativa. También, se planea realizar el análisis de sensibilidad de los rendimientos con relación al incremento o disminución del porcentaje del área verde. Por lo que se debe complementar con las fases 2 y tres de la Metodología FEL. Es posible explorar otras alternativas de cuantificación de beneficios para valorizar el anteproyecto, por ejemplo, el incremento de la percepción social de la empresa o el incremento del valor de la propiedad, así como el servicio ecosistémicos de filtración de agua y polinización, tarea que se propone para trabajos futuros.

Conclusiones

El análisis económico brinda las bases para el desarrollo de proyectos de prefactibilidad, a través de técnicas e indicadores cuantitativos. Cuando se trata de proyectos ambientales o sociales, se debe tomar en cuenta si se generan beneficios como recuperación y valorización de residuos, ahorro de energía o la disminución de impactos ambientales como contaminación del suelo y agua, riesgos de incendios forestales, disminución de la flora y fauna, riesgos a la salud o la captura de carbono.

Con los resultados presentados en éste trabajo, se comprobó la viabilidad económica del anteproyecto para la creación de un área verde para la captura de carbono, estimando que el proyecto generará flujos de efectivo anuales positivos, una vez restados los costos anuales, lo que

significa que en cada periodo el proyecto tendrá ganancias extraordinarias, además se determinó que el anteproyecto es económicamente viable, debido a que el valor presente neto estimado del anteproyecto es mayor a cero, la TIR es mayor a la tasa a la que se evaluó el anteproyecto, lo que significa que las ganancias del anteproyecto serán mayores a las ganancias mínimas esperadas. La relación costo beneficio revela que por cada peso invertido se obtendrá 0.58 centavos como ganancia extraordinaria, así mismo, el periodo de recuperación de la inversión se estima en un espacio de tiempo razonable de 1.84 años.

Referencias

- [1] INECC Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2018, mayo 18). Gases y compuestos de efecto invernadero. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero#:~:text=Los%20gases%20de%20efecto%20invernadero,energ%C3%ADa%20que%20proviene%20del%20Sol.>
- [2] EPA Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2022, Junio 14). Descripción general de los gases de efecto invernadero. [En línea]. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero>
- [3] Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente. “7 metodologías para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero” *IHOBE*. 2013
- [4] R. Larios. “El reto de la sostenibilidad en la industria textil y de la moda,” *Mundo Textil*, no. 159, pp. 36-40, 2019.
- [5] McKinsey & Company (2020). “Fashion on climate, how the fashion industry can urgently act to reduce its greenhouse gas emissions,” [En línea]. Disponible en: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/retail/our%20insights/fashion%20on%20climate/fashion-on-climate-full-report.pdf>
- [6] Ambio (2018) Bonos de Carbono. Disponible en: <https://ambio.org.mx/bonos-de-carbono/#:~:text=El%20Mercado%20de%20Bonos%20de,cantidad%20de%20Bonos%20de%20Carbono.>
- [7] LA INFORMACIÓN (04, agosto de 2019) Cuatro grandes beneficios de los espacios verdes y ecológicos para una empresa. Periódico la información. [En línea] Disponible en <https://www.lainformacion.com/management/cuatro-grandes-beneficios-de-los-espacios-verdes-y-ecologicos-para-una-empresa/6508026/>
- [8] C. Velázquez y D. Osorio. “Análisis Costo Beneficio Ambiental de Las Fachadas Verdes Estudio de Caso: Proyecto Cubo Verde” Tesis de maestría. Universidad de Medellín, Colombia, 2021
- [9] G. Baca-Urbina, “Evaluación económica” en Evaluación de proyectos. 7ma edición. Mexico, McGraw Hill, 2013
- [10] INEGI (2010) Compendio de información geográfica municipal 2010 Zempoala, Hidalgo. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13083.pdf
- [11] Gobierno del Estado de Hidalgo (2002). *Enciclopedia de los Municipios de México ESTADO DE HIDALGO: ZEMPOALA*. Disponible en <http://intranet.e-hidalgo.gob.mx/enciclomuni/municipios/13083a.htm>
- [12] EPA (2022, Marzo) “Convierta los datos de emisiones o de energía en términos concretos que usted puede entender—tales como las emisiones anuales de CO2 provenientes de los automóviles, hogares y centrales eléctricas.” [En línea]. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculador-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero>
- [12] M. Rüginitz, M. Chacón y R. Porro. “Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales” 1ra edición. ICRAF Technical Manual, Perú no.11. 2009
- [14] Gobierno de México (2022, Enero 21) “El riesgo país de México sin cambios durante la tercera semana del año” [En línea]. Disponible en:

- <https://www.gob.mx/shcp/gacetaeconomica/articulos/el-riesgo-pais-de-mexico-sin-cambios-durante-la-tercera-semana-del-ano>
- [15] INEGI (2022, Julio 22). “Índice nacional de precios al consumidor. Primera quincena de julio de 2022,” Comunicado de prensa núm. 372/22, [En línea] Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/inpc_1q/inpc_1q2022_07.pdf
- [16] Banco de México (2022, Agosto 02) “Resultados de la subasta” [En línea]. Disponible en: <https://www.banxico.org.mx/apps/dao-web/4/54/4/resultadosgubernamental.html>
- [17] Banco mundial (2017, Diciembre) “Fijación del precio del carbono” [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/carbon-pricing>
- [18] CONABIO (2011, Marzo 14) “Ficha técnica: Erigeron karvinskianus” [En línea]. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/erigeron-karvinskianus/fichas/ficha.htm>
- [19] CONABIO (2011, Julio 25) “Ficha técnica: Eupatorium pycnocephalum Less.” [En línea]. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/eupatorium-pycnocephalum/fichas/ficha.htm>
- [20] CONABIO (2009, Agosto 16) “Ficha técnica: Melampodium perfoliatum (Cav.) Kunth” [En línea]. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/melampodium-perfoliatum/fichas/ficha.htm>
- [21] CONABIO (2009, Julio 20) “Ficha técnica: Sedum moranense Kunth” [En línea]. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/crassulaceae/sedum-moranense/fichas/ficha.htm>
- [22] Gobierno de México (2018, Abril 10) “Maguey pulquero: el estado de Hidalgo destacó en 2017 con 69.6% de la producción nacional” [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/articulos/maguey-pulquero?idiom=es>
- [23] Gobierno de México (2020, Diciembre 02) “El nopal, parte de la riqueza del campo mexicano” [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-nopal-parte-de-la-riqueza-del-campo-mexicano>
- [24] Y. Islas-Barrios, A. Serrato-Díaz, J. A. Zavala-Hurtado, P. Octavio-Aguilar, A. Callejas-Chavero y A. Cornejo-Romero “Las flores de Myrtillocactus geometrizans (Cactaceae): morfología y artrópodos visitantes en un gradiente geográfico” Botanical Sciences. Vol.99 Núm.1 pp.28-42. 2021
- [25] Gobierno de México (2019, Julio 20) “Pequeño y rico capulín” [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/pequeno-y-rico-capulin>
- [26] CONAFOR (s.f.) “Yucca filifera” [En línea]. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/1016Yucca%20filifera.pdf>
- [26] A. Palacios, E. Jiménez, R. Rodríguez y R.Razo. “Distribución potencial de Prosopis laevigata (Humb. et Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. en el estado de Hidalgo, México” Rev. mex. de cienc. Forestales. Vol.12 Núm.63 México. 2021.
- [28] I. Pérez, A. L. Báez-Pérez, V. Osuna-Vallejo, C. Armendáriz-Arnez y R. Lindig-Cisneros. “Crecimiento de Fraxinus uhdei inoculado con dos ceps ectomicorrízicas en dos sustratos, uno contaminado con mercurio” Rev. Int. Contam. Ambient. Vol.36 Núm. 2 México 04 Mayo-2021
- [29] Pizarro, A; Baños, R. “Diseño, instalación, operatividad y mantenimiento de luminarias led para alumbrado público”. Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. 2019.

Metodología DMAIC para el aumento de disponibilidad de una línea de producción de refacciones automotrices

V.I. Jiménez Jarquin^{*11}, J.C. Navarrete Narvaez¹², B.S López Razo¹³, H. Dorantes Benavidez¹⁴, O. García Jiménez¹⁵

¹Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores del Oriente del Estado de México

¹valentinjimenezjarquin@hotmail.com

²juan_carlos_navarrete_narvaez@hotmail.com

³b.samuellopez7@gmail.com

⁴humberto_ing11@yahoo.com.mx

⁵omar24_ga@yahoo.com.mx

*Autor corresponsal

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

El presente trabajo plantea una mejora organizacional sobre la línea de producción de auxiliar de barra estabilizadora (Sway Bar Link), en una empresa productora de refacciones automotrices ubicada en el Oriente del Estado de México. La finalidad de este estudio es analizar las variables que afectan al cumplimiento de entrega del producto con el cliente, visto desde un aspecto organizacional se decide aplicar la metodología DMAIC, perteneciente al Six Sigma tomando en cuenta las herramientas de solución de problemas aplicadas al caso del negocio y la declaración de oportunidad de mejora. Se realiza un análisis con los indicadores UPPH (Unidades producidas por persona por hora), OEE (Eficiencia general de los equipos) y el índice de scrap (desperdicio), con el propósito de determinar qué factores afectan el desarrollo de una producción óptima y tomar medidas correctivas para aumentar la disponibilidad de la línea.

Palabras clave: Six Sigma, administración de la producción, administración de la calidad, industria de refacciones automotrices

Abstract

This paper proposes an organizational improvement on the Sway Bar Link production line, in a company that produces auto parts, located in the East of the State of Mexico. The purpose of this study is to analyze the variables that affect the fulfillment of product delivery to clients, seen from an organizational aspect, it was decided to apply Six Sigma DMAIC methodology, taking into account the problem solving tools applied to the business case and the statement of opportunity for improvement. An analysis is carried out with the UPPH (Units per Person per Hour), OEE (Overall Equipment Effectiveness) and scrap index indicators, in order to determine which factors deteriorate the development of optimal production and take corrective measures to increase the availability of the line.

Key words: Six Sigma, operations management, quality management, auto parts manufacturing

Introducción

La planificación y control de la producción es una de las actividades más delicadas que se tienen que cumplir en una empresa, pues es la que prevé lo que ha de producirse para atender las necesidades del mercado y con base en ello, es la que dimensiona los recursos que habrá de conseguir para viabilizar el plan. Por lo tanto, no se puede permitir un descuido en cualquier factor que involucre el desarrollo del producto, porque esto implica el uso una gran cantidad de recursos y materiales que impactan en gran medida las metas que se pretenden. La implementación de un método de control ha brindado resultados muy positivos dentro de la línea. Pero, como en todo progreso, existen obstáculos ya que no solo es necesario crear una manera de realizar las actividades, la constancia de revisar que se lleven a cabo de la manera sugerida es un detalle importante al que no siempre se le presta atención. El presente trabajo fue realizado en una empresa de piezas automotrices, siendo la producción de SBL (Sway Bar Link) la actividad a estudiar. La metodología aplicada para la solución de este problema corresponde al DMAIC perteneciente a proyectos de Six Sigma.

Un problema muy recurrente en empresas de manufactura se relaciona con faltantes en las órdenes de producción, en la mayoría de las ocasiones, ese faltante se debe a un índice elevado de defectos, fallas o errores en el proceso y la causa principal de estos errores es la falta de planeación o un proceso mal dirigido de planeación, es decir, sin el uso de un criterio racional que tenga como propósito la optimización de los recursos en el proceso de producción, esto a su vez provoca incurrir en costos excesivos de fabricación, uso ineficiente de los recursos y retrasos en las entregas.

El problema a abordar con la implementación de esta metodología está relacionado con la diferencia entre la disponibilidad esperada y la disponibilidad real en la línea de producción de auxiliar de barra estabilizadora SBL, este problema se ve reflejado en niveles altos de producto faltante en las órdenes de fabricación que, aparentemente se deben a altos niveles de desperdicio en el proceso, lo cual provoca que tengan que repetirse las corridas de producción para completar los pedidos, en general, este problema provoca un impacto económico sustancial en los resultados financieros de la organización, por el costo de los desperdicios, el costo de las repeticiones y el costo de oportunidad, por dejar de utilizar esos recursos en la fabricación de productos de calidad listos para ser entregados al cliente, en resumen, podemos decir que se está haciendo un uso ineficiente de los recursos en el proceso. Se concluye que se necesita implementar una estrategia que optimice el uso de los recursos en la línea de producción, para mejorar los niveles de eficiencia, mediante el incremento de la disponibilidad de la línea de producción.

El concepto de disponibilidad

En gestión de la producción, la disponibilidad se define como la capacidad de un sistema de cumplir con sus requerimientos de fabricación, con las características requeridas, y en el tiempo requerido, considerando que se cuenta con los recursos necesarios para que así sea, sin considerar las interrupciones ocasionadas por factores incontrolables no ocasionados por fallas en la línea [1]. Representa el porcentaje del tiempo en que la línea está realmente disponible para su funcionamiento con respecto al tiempo total, incluyendo el tiempo disponible y el tiempo fuera de servicio, y se calcula con el cociente del tiempo disponible sobre el tiempo total, expresado en la ecuación (1).

$$A = \frac{UT}{(UT + DT)} \quad (1)$$

Donde *UT* (Up-time) es el tiempo en que la línea está disponible para su funcionamiento y *DT* (Down-time) es el tiempo fuera de servicio por causas técnicas. La disponibilidad esperada representa un porcentaje de disponibilidad probable, calculado con base en datos obtenidos por la experiencia de la línea, considerando la cantidad de ciclos y sus tiempos de funcionamiento y reparación de la línea de producción.

La calidad es dinámica y por lo mismo es estratégica con base en los objetivos del negocio. Se suele pensar que la calidad se observa exclusivamente en las cualidades del producto terminado, sin embargo, propuestas modernas innovadoras exponen a la calidad desde una perspectiva humanística, afirman que se origina en las personas involucradas en el proceso productivo, en sus actitudes y en los esfuerzos y las acciones que ellos hacen para que exista [2]. En lugar de ser concebida como un atributo deseable, debería ser considerada como el elemento de mayor prioridad y concentrar esfuerzos para su logro. Un sistema de calidad estratégico debe buscar la prevención, más que corregir errores, pues el costo de la prevención es mucho menor que el costo de desechar productos defectuosos y mucho menor aún que el costo que podría representar entregar productos defectuosos a los clientes [3].

La metodología Six Sigma

La metodología Six Sigma se propone inicialmente como una tarea inherente de los altos ejecutivos, eran ellos quienes tenían la responsabilidad de su planeación, implementación y seguimiento [4]. Sin embargo, se ha descubierto que el Six Sigma tiene que ser accesible a todos los miembros de la organización y deben aplicar sus propias habilidades y conocimientos en su proceso de ejecución [5]. El origen de Six Sigma es la necesidad de la implementación de estrategias para el control de calidad en grandes empresas manufactureras, con el

propósito de mejorar los procesos de fabricación y la minimización de la cantidad de defectos, sin embargo, actualmente es empleada en empresas de toda naturaleza; de fabricación, de servicios y comerciales [6].

De manera implícita, la implementación de una metodología de Six Sigma tiene como fin mejorar indicadores de carácter financiero, pero también incluye la determinación, medición y comparación de dichos indicadores, de una manera clara y objetiva, lo cual conduce a su vez a una mejor definición de las tareas y responsabilidades de las personas involucradas en el proceso de mejora, generalmente, mediante el logro de la minimización de defectos en el proceso productivo, de tal forma que el indicador más recurrente resulta ser la cantidad de defectos a obtener por lote de producción.

La metodología DMAIC

El proceso de DMAIC es una parte central de la metodología Six Sigma, este proceso incluye las etapas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar, su propósito central es lograr la mejora. Una tarea central del proceso consiste en la recolección y análisis de datos para obtener conclusiones objetivas y un proceso de control eficaz. Algunos autores proponen la aplicación de la metodología DMAIC como parte fundamental en otras metodologías, como el Lean Manufacturing [7]. A continuación se describen las etapas de la metodología [8].

Definir: Esta etapa consiste en la definición clara de todos los elementos del proceso productivo y la búsqueda de información relacionada con las preferencias y necesidades de los clientes, así como la participación de las personas responsables de la planeación y ejecución del proceso. Es decir, elaborar un plan de acción para la implementación de la metodología que considere y se ajuste a los objetivos de la organización.

Medir: En esta etapa se deben recolectar datos para identificar los indicadores que ayuden a aclarar en qué consiste el problema, cuáles son los síntomas que muestran la existencia del problema, cuáles son sus causas y cuáles son las áreas de la organización donde se origina. Los datos pueden obtenerse de diferentes partes del proceso, pero la comunicación con los clientes es crucial. En esta etapa, también se definen los parámetros que servirán para la evaluación del buen funcionamiento del proceso.

Analizar: En esta etapa se deben obtener las conclusiones derivadas de la etapa de medición, mediante un proceso de análisis de los datos obtenidos, con el propósito de conocer las verdaderas causas del problema, antes de comenzar con la búsqueda de posibles acciones para resolverlo.

Mejorar: Esta tarea consiste en la formulación de posibles cursos de acción para la solución del problema, la definición de criterios de selección y la evaluación de las mismas, para elegir cual será la solución a implementar, para finalmente comenzar el proceso de implementación.

Controlar: Durante el proceso de implementación de la solución óptima, es necesario monitorear los resultados obtenidos, mediante la comparación de los indicadores establecidos y la recopilación de datos obtenidos durante el proceso de mejora. Si los resultados son favorables, esta etapa servirá como una experiencia para la organización, para tener ideas de cómo actuar ante la posible ocurrencia de problemas de la misma naturaleza. Si los resultados no son los deseados, será necesario reformular estrategias para el tratamiento del problema.

Metodología

Diagnóstico. Definir – Medir – Analizar

Durante 2021 en la línea de SBL reportó faltantes en las ordenes de producción, es decir que las ordenes no llegaban completas al proceso de empaque, esto ha generado que durante los turnos de producción se ocupen recursos adicionales en la línea para poder cumplir con el promedio diario. En la figura 1, se muestra el diagrama de Ishikawa para determinar las causas principales.

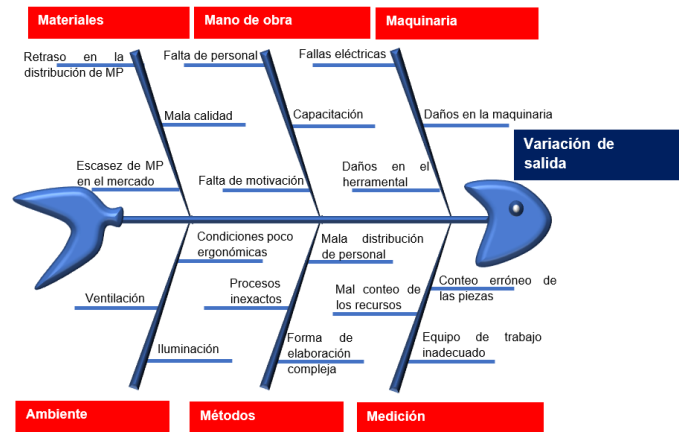


Figura 1. Diagrama de Ishikawa para encontrar las posibles causas de variación de salida.

En esta etapa se establecieron los indicadores a analizar para determinar las causas de las fallas, y se realizó un plan para recolección de datos, se determinó el uso de indicadores de calidad y capacidad del proceso, basándose en datos obtenidos por la VOC (Voz del cliente). En la tabla 1 se muestra el resultado del proceso de VOC.

La Gran Y	Voz del Cliente VOC	Asunto Clave para el cliente	Requerimiento Crítico para el Cliente	Crítico a Calidad (CTQ s)
Incrementar la disponibilidad en la línea de SBL	Órdenes de producción llegan incompletas por faltantes	No se puede meter pallet a almacén de embarques	Órdenes de producción completas	Disponibilidad

Tabla 1. Análisis basado en la Voz del Cliente

La disponibilidad esperada de un proceso/máquina/célula de trabajo se calcula considerando la cantidad de turnos y horas por turno restando los tiempos planeados y no planeados como comida, juntas, limpieza y set up. En la tabla 2 se muestra el cálculo correspondiente.

Tiempo Disponible			
a	Horas por turno	480	
b	Cantidad de turnos	2	960 a*b
Paros Planeados			
c	Comida	30	
d	Junta	30	
e	Orden y Limpieza	30	90 c+d+e
Paros No planeados			
f	Set up	120	120 f
Disponibilidad Esperada			86%
*Tiempo en minutos			

Tabla 2. Cálculo de la disponibilidad real vs la disponibilidad esperada.

Para calcular la disponibilidad esperada se tomó en cuenta el tiempo de ciclo para cada etapa del proceso y el Set Up, de esta forma se obtuvo el número de piezas que debían ser producidas que se traducen en órdenes cumplidas y órdenes con faltantes. De este modo se recalculó el tiempo de ejecución y set up. Sin embargo, en la práctica, hubo mayor tiempo de ejecución por faltantes de piezas y tiempo de Set Up, como resultado se agregó tiempo muerto a este análisis. El resultado fue una disponibilidad total esperada del 82% y una disponibilidad real del 79%, concluyendo con una variación final del 3% como se muestra en la tabla 3.

	Corte	Soldadura	Granallado	Fosfatizado	Perforado	Subensamble	Ensamble	Empaque	Total
Tiempo Ciclo	0.2 min	0.2 min	10 min	25 min	0.1 min	0.3 min	1 min	0.1 min	
Set up	15 min	30 min	5 min	10 min	6 min	6 min	30 min	7 min	
Pzas Totales	1,447,878	1,447,878	1,447,878	1,447,878	1,447,878	1,447,878	1,447,878	1,447,878	
Cantidad de órdenes	5,866	5,866	5,866	5,866	5,866	5,866	5,866	5,866	
Cantidad de órdenes con faltantes	545	545	545	545	545	545	545	545	
Pzas Faltante	1,967 pzas	1,967 pzas	1,967 pzas	1,967 pzas	1,967 pzas	1,967 pzas	1,967 pzas	1,967 pzas	
Tiempo Disponible	396,000 min	792,000 min	396,000 min	198,000 min	396,000 min	594,000 min	990,000 min	396,000 min	4,158,000 min
Tiempo de Ejecución	265,444 min	337,838 min	75,169 min	36,462,394 min	168,919 min	434,363 min	844,596 min	144,788 min	
Tiempo de Set up	87,990 min	175,980 min	29,330 min	58,660 min	35,196 min	35,196 min	293,300 min	41,062 min	756,714 min
Disponibilidad Esperada	78%	78%	93%	70%	91%	94%	70%	90%	82%
Tiempo de Ejecución x faltantes	361 min	459 min	6,808 min	16,512 min	229 min	590 min	1,147 min	197 min	
Tiempo de Set up	8,175 min	16,350 min	2,725 min	9,450 min	3,270 min	3,270 min	27,250 min	3,815 min	
Tiempo muerto total	8,536 min	16,809 min	9,533 min	21,962 min	3,499 min	3,860 min	28,397 min	4,012 min	96,608 min
Tiempo muerto total	142 h	280 h	159 h	366 h	58 h	64 h	473 h	67 h	1,610 h
Tiempo muerto total	9 días	19 días	11 días	24 días	4 días	4 días	32 días	4 días	107 días
Disponibilidad Real	76%	76%	90%	59%	90%	93%	68%	89%	79%
Variación	-2%	-2%	-2%	-11%	-0.88%	-1%	-3%	-1%	-2%

Tabla 3. Cálculo de la variación de disponibilidad real vs esperada

Para encontrar las principales áreas de oportunidad de mejora se entrevistaron a las personas involucradas en el proceso solicitándoles que evaluarán en una escala entre 1, 5 y 9 que tan posible era que el problema de variación se diera en cada una de las variables mencionadas, los resultados según el criterio de los participantes se muestran en la gráfica de Pareto que muestra la figura 2.

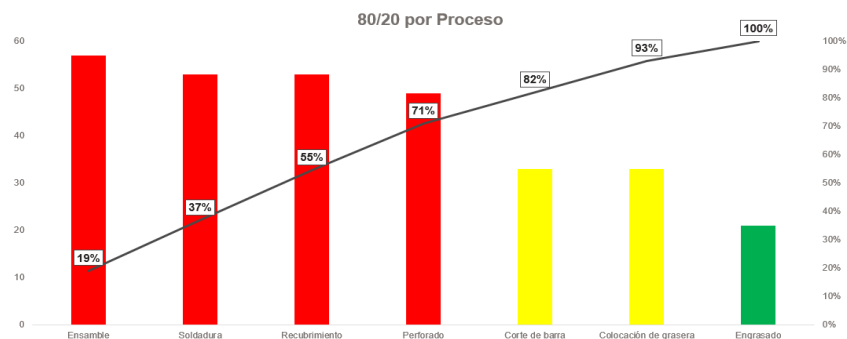


Figura 2. Gráfica de Pareto del número de errores producidos por proceso

De esta forma se determinó que los principales procesos donde ocurren los errores son ensamble y soldadura. Posteriormente se siguió una OP con cantidad de 200 piezas para seguir la operación y verificar la pérdida entre los procesos, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 4.

	1 Corrida	2 Corrida	3 Corrida
Proceso	200	9	3
Corte	0	0	0
Soldadura	4	3	2
Gy F	0	0	0
Perforado	0	0	0
Subensamble	1	0	0
Ensamble	1	1	0
Engrasado	0	0	0
Grasera	0	0	0
Empaque	0	0	0
Piezas Totales	212		

Tabla 4. Análisis de piezas faltantes por proceso.

Para la 1era corrida se cortaron 200 barras, faltando en empaque 6 piezas. Para la 2da corrida se cortaron 9 piezas, y para la 3era corrida se cortaron 3 piezas, cerrando la orden con 200 piezas. Dado el seguimiento de la orden y revisando en piso los procesos, se concluye que la causa raíz del problema en cuestión se encuentra en soldadura, y en específico, en el ajuste en el set up para la altura y el centrado de la barra y housing. Por lo tanto, se decide rediseñar el herramental en soldadura que nos permita cumplir con la especificación de la altura de soldadura, la posición de housing contra barra con la primera pieza de set up.

Diseño del herramental. Mejorar – Controlar

El objetivo de las modificaciones es conseguir el centrado de las piezas a soldar de modo que no deba realizarse un ajuste complejo. Se diseñó un primer herramental con líneas guía grabadas y se diseñó una punta al borde de la barra que se ubica en el centro de las líneas. La imagen izquierda de la figura 3, muestra el diseño máster con punta para el ajuste contra el portahousing, la imagen central, muestra el grabado del portahousing para encontrar centrado con el máster con punta, y en la imagen derecha se muestra el grabado del centro de PIM para centrarlo contra el portahousing.

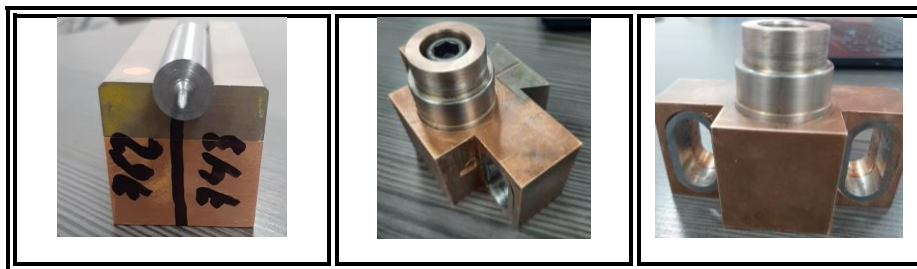


Figura 3. Diseño del herramental, prototipo 1.

Al probar la herramienta rediseñada se logró un tiempo de set up de 5 a 8 minutos, sin embargo, se observó un alto riesgo de pinchamiento, el grabado del centro se desvanece con facilidad y el Portahousing se desgasta de manera prematura y se desvanecen las marcas en el mismo.

El segundo prototipo se diseñó con la barra terminado en punta cuadrada para formar un tope con el máster. Una de las ventajas de este diseño es la reducción del riesgo de pinchamiento y que la forma de encajar es más sencilla que intentar ver las líneas de grabado que son tan finas y, por condiciones de iluminación, son difíciles de ver. En la imagen izquierda de la figura 4, se muestra la barra del segundo prototipo y en la imagen derecha, se presenta el máster.

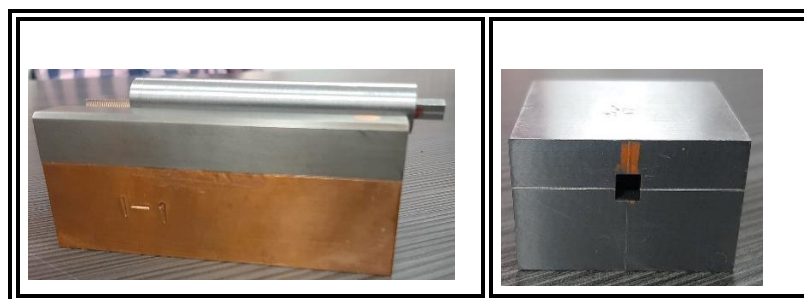


Figura 4. Diseño del herramental, prototipo 2.

En línea con las mejoras propuestas para reducir el tiempo de ejecución y set up por faltantes y aumentar la disponibilidad, se implementan los controles adecuados para asegurar que este proceso de mejora tenga los resultados esperados a largo plazo y reduzca la producción de scrap.

Resultados y discusión

Con la implementación del herramental, se logró obtener el ajuste necesario en el set up para la altura y el centrado de la barra y housing en el proceso de soldadura. En la figura 5 se presenta una muestra del resultado de soldadura con el uso del herramental, así como las especificaciones del mismo. Se puede notar que se obtuvo una altura y posición dentro de los parámetros permitidos.

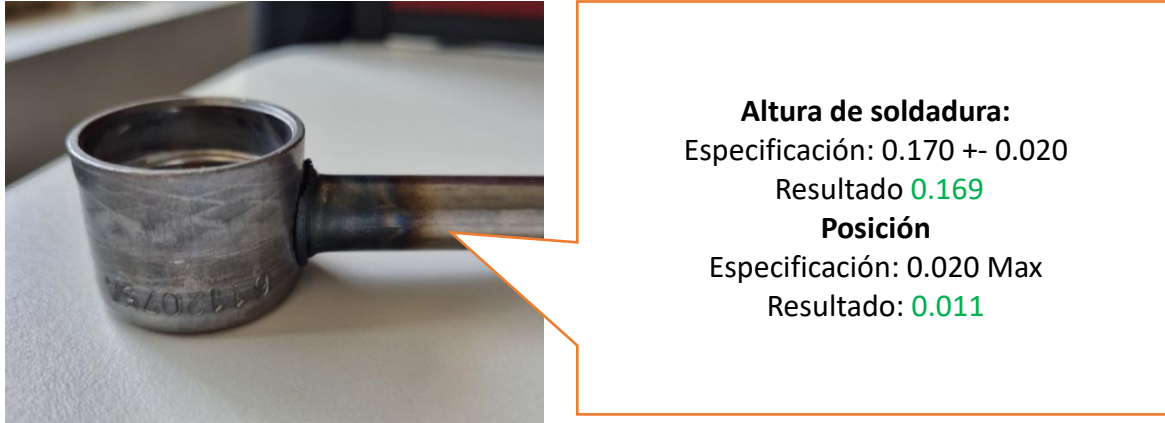


Figura 5. Proceso de soldadura con el uso del herramental.

De acuerdo con los datos obtenidos mediante la ejecución de las pruebas enfocadas en los procesos de soldadura tanto en uno como en dos Set Up, se obtuvo resultados favorables, logrando igualar el valor de la disponibilidad esperada con la disponibilidad real obtenida. La tabla 5 muestra la eliminación de tiempos muertos por piezas faltantes y Set Up, con base en un seguimiento semanal. Se puede observar que se logró eliminar la variación de la disponibilidad real con respecto a la disponibilidad de la línea.

	Corte	Soldadura	Granallado	Fosfatizado	Perforado	Subensamble	Ensamble	Empaque	Total
Tiempo Ciclo	0.2 min	0.2 min	10 min	25 min	0.1 min	0.3 min	1 min	0.1 min	
Set up	15 min	15 min	5 min	10 min	6 min	6 min	50 min	7 min	
Pzas Totales	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	
Cantidad de órdenes	130	130	130	130	130	130	130	130	
Cantidad de órdenes con faltantes									
Pzas Faltante									
Tiempo Disponible	7,615 min	15,231 min	7,615 min	3,808 min	7,615 min	11,423 min	19,038 min	7,615 min	79,962 min
Tiempo de Ejecución	7,333 min	9,333 min	2,077 min	1,007,333 min	4,667 min	12,000 min	23,333 min	4,000 min	
Tiempo de Set up	1,950 min	1,950 min	650 min	1,300 min	780 min	780 min	6,500 min	910 min	14,820 min
Disponibilidad Esperada	74%	87%	91%	66%	90%	93%	66%	88%	81%
Tiempo de Ejecución x faltantes	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min
Tiempo de Set up	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min
Tiempo muerto total	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min	0 min
Tiempo muerto total	0 h	0 h	0 h	0 h	0 h	0 h	0 h	0 h	0 h
Tiempo muerto total	0 días	0 días	0 días	0 días	0 días	0 días	0 días	0 días	0 días
Disponibilidad Real	74%	87%	91%	66%	90%	93%	66%	88%	81%
Variación	0%	0%	0%	0%	0.00%	0%	0%	0%	0%

Tabla 5. Análisis de disponibilidad después de la mejora.

En la tabla 6 se resumen los resultados obtenidos por la implementación de la metodología DMAIC. Se logró una reducción de 545 órdenes con faltante, sumando un total de 1,967 piezas faltantes debido al ahorro de 96,608 minutos de tiempo muerto total, obteniendo una mejora de 2% en la variación de disponibilidad de la línea, con un UPPH de 11 unidades y un Head Count de 55 personas, lo cual implica una disminución total del costo de no calidad por \$422,905.

<i>Criterio</i>	<i>Mejora obtenida por la implementación</i>
<i>Cantidad de órdenes con faltante</i>	545
<i>Piezas faltantes</i>	1,967
<i>Tiempo muerto total</i>	96,608 min.
<i>Variación en la disponibilidad real vs esperada</i>	-2%
<i>UPPH</i>	11
<i>Head Count</i>	55
<i>Costo total</i>	\$422,905

Tabla 6: Resultados obtenidos por la implementación de la metodología DMAIC

Trabajo a futuro

Después de la implementación del herramental propuesto como parte de solución del problema, las siguientes tareas consistirán en la elaboración de un plan integral de capacitación a los colaboradores, un programa de mantenimiento preventivo y correctivo a la maquinaria y las instalaciones, la formulación de un manual para la estandarización de procesos. La evaluación de posibles causas de problemas subsecuentes en las demás líneas de producción de la empresa y proponer la implementación de esta metodología para resolverlos. Evaluar cada máquina presente en los demás procesos para la producción de SBL, con el objetivo de proponer un proyecto de mejora en cada máquina, sumado a que el departamento de mantenimiento diseñe un plan de mantenimiento.

Conclusiones

Se concluye que la manera más eficiente de solucionar los problemas de variación es utilizando herramientas que permitan al operario realizar la actividad en cuestión de una forma óptima. Con la implementación de estas herramientas se logró que el operador adquiriera una cultura de limpieza, orden y buen desempeño dentro de la línea de SBL, obteniendo como resultado un incremento de eficacia y eficiencia en los procesos y operaciones, esto conlleva a que los costes y tiempos sean óptimos. También ayudará a la empresa a ser más rentable y solvente.

No es difícil aplicar este tipo de herramientas, solo se necesita capacitar correctamente al operario para que aprenda a utilizarlas, sabiendo darle la continuidad necesaria para que se pueda conseguir la mejora continua para cualquier proceso y llevarla a la perfección. La metodología Six Sigma se puede aplicar en Plantas que tienen problemas de atención a los clientes y en el manejo de una demanda variable.

El alto volumen de ventas requiere una atención particular a los clientes, por su volumen de compra, fidelidad con el producto y calidad de éste, por este motivo al reducir el tiempo de producción y la posibilidad de error en la actividad de soldadura, se asegura de reducir la merma y los tiempos muertos en la fabricación del producto además de tener en claro el HC (número de personas activas en la línea de producción de SBL) para lograr el UPPH (Unidades producidas por persona por hora) esperado.

Referencias

- [1] G. Carmignani, "Scrap value stream mapping (S-VSM): a new approach to improve the supply scrap management process". *International Journal of Production Research*, vol. 55, no. 12, pp. 12 3559–3576, 2017.
- [2] Y. Pambreni, A. Khatibi, S. M. Ferdous Azam & J. Tham, "The influence of total quality management toward organization performance". *Management Science Letters*, vol. 9, pp. 1397-1406, 2019.
- [3] A. Thomas, "Developing an integrated quality network for lean operations systems". *Business Process Management Journal*, Vol. 24, no. 6, pp. 1367-1380, 2018.
- [4] M. Singh & R. Rathi, "A structured review of Lean Six Sigma in various industrial sectors". *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 10, no. 2, pp. 622-664, 2019.
- [5] G. Arcidiacono & A. Pieroni, "The Revolution Lean Six Sigma 4.0". *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 141-149, 2018.
- [6] L. E. Solis Granda, O. A. Pérez Manzo, I. R. Balón Ramos & E. J. Carrasquero Rodríguez, "Diagnóstico de la necesidad de implementación de la metodología Six Sigma en MIPYMES de manufacturas de la ciudad de Milagro, Ecuador", *Universidad, Ciencia y Tecnología*, vol. 23, no. 90, pp. 37-43, 2019.
- [7] K. M. Srinivasan, "Six Sigma through DMAIC phases: a literature review", *International Journal of Productivity and Quality Management*, vol. 17, no. 2, pp. 236-257, 2016.
- [8] R. Garza, C. González & E. Rodriguez, "Aplicacion de la metodología DMAIC de Seis Sigma con simulacion discreta y tecnicas multicriterio". *Revista de metodos cuantitativos para la empresa*, vol. 22, pp. 19-35, 2016.

Prueba T pareada para validación de equipos de humedad para café verde y tostado

J. Vicente Martínez¹, N. Gutiérrez Casiano¹, T. García Herrera¹, L. Prieto Reyes¹, R.I. Castro Salas^{1*}

¹Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Oriente 6 1009, Rafael Alvarado, C.P. 94340, Orizaba, Ver. México.

*roscaastro@uv.mx

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

La humedad presente en el café verde y tostado (*Coffea Arábica*) es de vital importancia, al permitir la transferencia de calor al centro del grano, empleando una termobalanza Adam PMB 202 y los métodos establecidos por las Normas Mexicanas. Se evaluaron las variables temperatura y tiempo, a través de un diseño factorial tanto para el café verde como para tostado, esto permitió seleccionar la mejor alternativa. Con esta información, se llevó a cabo la prueba T pareada, donde se aceptó la hipótesis nula en el café verde y tostado, demostrando que no existe diferencia significativa entre los resultados de humedad. Derivado del análisis se recomendó utilizar una temperatura de 159°C durante 20 minutos para el café verde y 128°C durante 8 minutos para el café tostado. Finalmente, se realizó la caracterización fisicoquímica de ambos cafés, pruebas que comprendieron cenizas, aw, color, pH y carbohidratos, para conocer la calidad del café.

Palabras clave: validar, café, humedad, T pareada

Abstrac

The moisture present in green and roasted coffee (*Coffea Arabica*) is vitally important, as it allows heat transfer to the center of the grain, using an Adam PMB 202 thermobalance and the methods established by the Mexican Standards. The temperature and time variables were evaluated through a factorial design for both green and roasted coffee, this resulted in selecting the best alternative. With this information, the paired T test was carried out, where the null hypothesis was held in green and roasted coffee, showing that there is no significant difference between the moisture results. Derived from the analysis, a temperature of 159°C for 20 minutes was used for green coffee and 128°C for 8 minutes for roasted coffee. Finally, the physicochemical characterization of both coffees was carried out, tests that included ash, aw, color, pH and carbohydrates, to know the quality of the coffee

Key words: to validate, coffee, humidity, paired t

Introducción

El café es uno de los productos primarios más valiosos en el comercio mundial, de acuerdo con la Organización Internacional del Café [1]. Es un producto agrícola de suma relevancia en el mundo, ya que es cultivado por casi 20 millones de productores en alrededor de 50 países. El cultivo de café en nuestro país se desarrolla en quince estados, en los cuales Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero e Hidalgo son los máximos productores. Veracruz ocupa el segundo lugar nacional en producción de café con un total de 350 mil toneladas al año, aportando el 21.25% de café producido en el país, que benefician de manera directa a familias dedicadas a este cultivo. Este cultivo es el soporte económico de muchos países y el segundo producto más comercializado del mercado mundial, después del petróleo [2].

El secado del café es un proceso diseñado para evitar el deterioro del grano y por tanto conservar su calidad. Cuando el café tiene una humedad superior al 12.5% existe riesgo de deterioro microbiológico por hongos y bacterias, daño físico, pergamino manchado y decoloración de la almendra, además de pérdida de calidad de la bebida en forma de sabores sucios, mohosos, terrosos y de reposo. He aquí que el proceso de secado del café sea una etapa crítica que requiere mucho control. Según el país e incluso las zonas de cada territorio productor, el proceso de secado se puede realizar en la misma finca o bien en centros específicos donde se lleva a cabo esta tarea [3].

La empresa cafetalera donde se realizó este estudio, cuenta con un Laboratorio de Control de calidad, donde se llevan a cabo los análisis necesarios para garantizar la calidad de los diversos productos que ahí se analizan. Dicha empresa cuenta con la certificación FSSC 22000 (Food Safety System Certification) reconocida globalmente por GFSI (Global Food Safety Initiative), este programa de certificación en la industria de alimentos ayuda a la mejora de procesos y a garantizar la producción de alimentos inocuos, por lo que es necesario el cumplimiento legal y la validación de las metodologías implementadas en toda la cadena de suministro.

Se utilizó la distribución T para validar los procedimientos para la determinación de humedad en el café verde y café tostado, mediante el uso de la termobalanza y el método de estufa, ya que con ésta se comparan las medias y las desviaciones estándar de un grupo de datos y se determina si entre esos parámetros las diferencias son estadísticamente significativas o si solo son diferencias aleatorias.

Metodología

La investigación que se llevó a cabo fue una investigación cuantitativa, debido a que cómo su nombre lo dice se cuantificó la humedad del café verde y tostado, para posteriormente hacer un análisis estadístico, que en este caso fue la T pareada, permitiendo validar los dos métodos. Asimismo, se realizó la caracterización fisicoquímica para ver la calidad del café obtenido.

Obtención de la materia prima

Las muestras de café verde y café tostado que se emplearon en este estudio pertenecen a la región de Huatusco, Veracruz, y fueron proporcionadas por una empresa cafetalera de las altas montañas.

Diseño de experimentos

Para validar la prueba de humedad en la termobalanza Adam PMB 202, se llevó a cabo un diseño de experimentos, en el cual para aplicar la aleatoriedad requerida se utilizó el software Minitab, donde se eligió un diseño factorial completo con dos factores: temperatura y tiempo, y con 3 niveles, en el cual incluía dos réplicas para el café verde y tres réplicas para el café tostado, obteniendo un total de 27 y 18 réplicas respectivamente.

Prueba T pareada

Para la prueba T pareada se siguió la metodología reportada por Sánchez [4], donde se tomaron 10 muestras de café verde y 10 de café tostado. Con los mejores resultados de los parámetros obtenidos en los diseños de experimentos, se procesaron las 10 muestras en las termobalanzas y en la estufa siguiendo las Normas Mexicanas establecidas para la determinación del porcentaje de humedad. Todos los resultados de humedad obtenidos en el café verde y café tostado por el método de estufa y por termobalanzas fueron ingresados en el software Minitab con el fin de realizar la prueba de normalidad y calcular las respectivas medias y desviación estándar, para posteriormente realizar la prueba T pareada que determina si las medias de dos grupos difieren estadísticamente. Por lo que las hipótesis planteadas fueran las siguientes:

Café verde

H₀: No hay diferencia significativa en el % de Humedad del café verde entre la prueba de estufa y la termobalanza PMB.

H₁: Sí hay diferencia significativa en el % de Humedad del café verde entre la prueba de estufa y la termobalanza PMB.

Café tostado

H₀: No hay diferencia significativa en el % de Humedad del café tostado entre la prueba de estufa y la termobalanza PMB.

H₁: Sí hay diferencia significativa en el % de Humedad del café tostado entre la prueba de estufa y la termobalanza PMB.

Caracterización fisicoquímica

Se desarrolló la caracterización fisicoquímica del café verde y tostado, mediante técnicas de las normas vigentes. Para la determinación de humedad en el café verde se utilizó la NMX-F-181-SCFI-2010 y para el café tostado la NMX-F-013-2000. La determinación de cenizas en el café verde y tostado se realizó siguiendo la NMX-F-607-NORMEX-2013. Se evaluó el color del café verde y tostado usando un espectrofotómetro para sólidos. La actividad de agua se midió a través de un medidor de aw marca LabSwift-aw. Para la determinación de pH se preparó el extracto de café verde y tostado, y posteriormente se midió directamente el pH con un potenciómetro. La determinación de azúcares totales se realizó con base en el método descrito por Dubois. Los resultados se procesaron en el software estadístico Minitab 17 y se expresaron como la media \pm desviación estándar.

Resultados y discusión

Para determinar la mejor combinación de las variables temperatura y tiempo en la termobalanza Adam PMB 202, se analizaron los resultados de humedad para el café verde y café tostado, los cuales se presentan en la Tabla 1 y Tabla 2 respectivamente.

Tabla 1. Resultados del % de humedad del café verde.

Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)	Humedad %
158	20	12.10 \pm 0.707
158	21	12.50 \pm 0.495
158	22	12.57 \pm 0.106
159	20	12.10 \pm 0.141
159	21	12.22 \pm 0.247
159	22	12.45 \pm 0.424
160	20	12.65 \pm 0.354
160	21	12.75 \pm 0.070
160	22	12.67 \pm 0.318
Método de estufa		12.08 \pm 0.262

Por medio de gráficas de efectos principales (Figura 1), se identificaron los nuevos parámetros de temperatura y tiempo que mejor resultado tuvieron de acuerdo con el valor de humedad por el método de estufa en el café verde; las nuevas condiciones recomendadas para operar la termobalanza son 159°C y 20 minutos. Mientras que los parámetros de temperatura y tiempo que

mejor se adecuan al resultado de humedad por el método de estufa para el café tostado son 128°C y 8 minutos. Las gráficas de efectos principales para el café tostado se muestran en la Figura 2.

Tabla 2. Resultados del % de humedad del café tostado.

Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)	Humedad %
128	6	2.23 ± 0.208
128	7	2.10 ± 0.173
128	8	2.10 ± 0.173
130	6	2.10 ± 0.173
130	7	2.30 ± 0.000
130	8	2.20 ± 0.173
132	6	2.20 ± 0.173
132	7	2.23 ± 0.208
132	8	2.20 ± 0.173
Método de estufa		1.67 ± 0.287

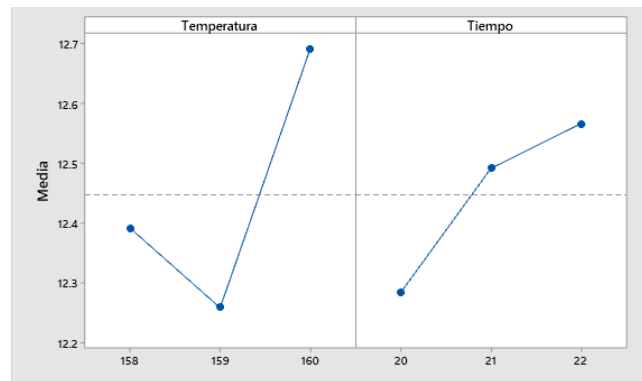


Figura 1. Gráfica de efectos principales para % de humedad para café verde.

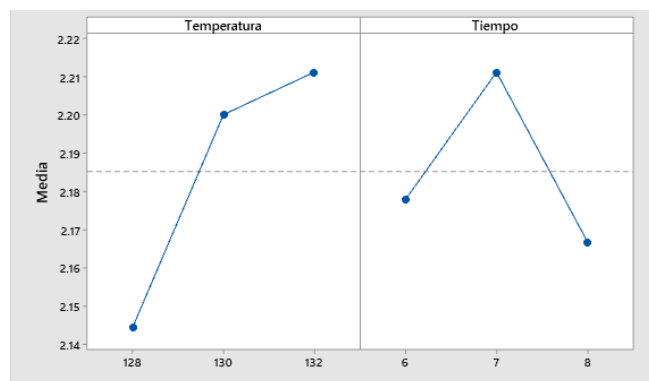


Figura 2. Gráfica de efectos principales para % de humedad para café tostado.

Prueba T pareada

Los resultados de la prueba T pareada en las diferentes muestras de café verde y tostado se muestran en la Tabla 3. Para la determinación de humedad en café verde con la termobalanza PMB

no presentaron diferencia significativa con el método de estufa, teniendo un valor P de 0.327. La Figura 3 demuestra que los resultados de humedad alcanzados por ambos métodos son prácticamente iguales, por lo que se acepta la hipótesis nula.

Tabla 1. Prueba T pareada para el % de humedad.

Muestra de café	Método de estufa	Termobalanza	Valor p
Verde	12.980 ± 0.437	13.065 ± 0.323	0.327
Tostado	2.186 ± 0.513	2.095 ± 0.452	0.43

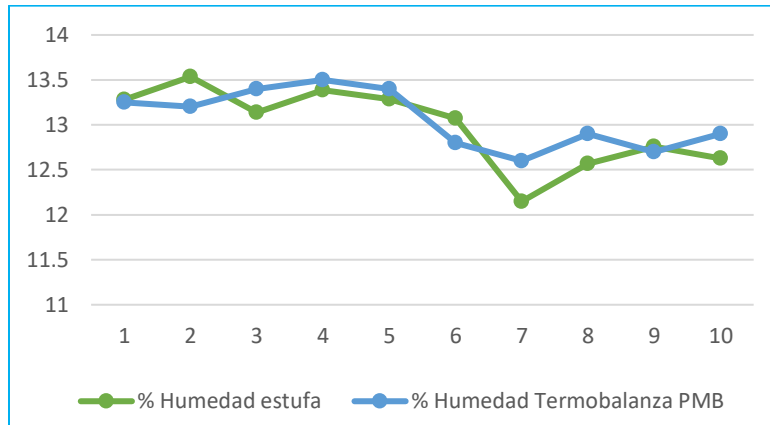


Figura 3. Comparación del % de Humedad en Café verde.

Los resultados de humedad del café tostado en la termobalanza PMB cotejados con los del método de estufa no presentaron una diferencia significativa, donde se tuvo un valor P de 0.430, aceptando así la hipótesis nula. En la Figura 4 se observa que las humedades obtenidas por ambos métodos son generalmente iguales, confirmando que no existe una diferencia significativa entre los dos métodos utilizados.

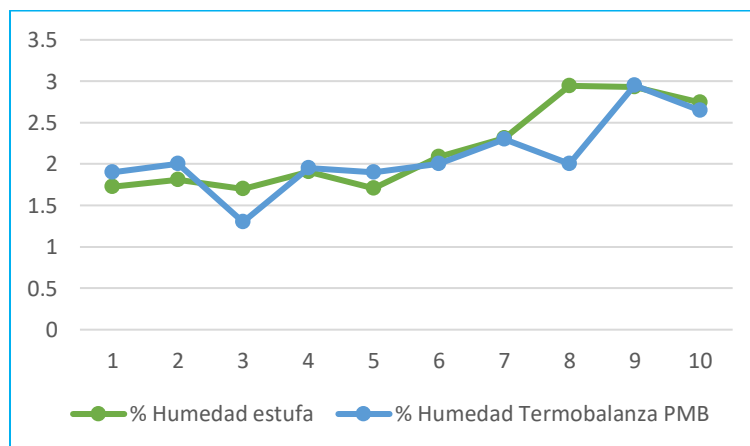


Figura 4. Comparación del % de Humedad en Café tostado.

Caracterización fisicoquímica

Café verde

Se encontró que el porcentaje de humedad en el café verde es de 11.303 ± 0.192 valor que se encuentra dentro del intervalo de 10 a 12.5% establecido por la norma de café verde NMX-F-597-SCFI. Según lo reportado por Añamuro [5], el porcentaje de cenizas es de 4.5%, valor que concuerda con el obtenido en este estudio (4.0616 ± 0.0856). La actividad de agua se registró de 0.6252 ± 0.0441 , Ecotact [6] señaló que los granos de café verde deberían tener una actividad de agua igual o inferior a 0.6, ya que de lo contrario la posibilidad de actividad microbiana aumenta y puede llevar a producir moho y hongos en los granos. El pH que presentaron los granos de café verde fue de 5.8475 ± 0.1493 , cabe mencionar que se ha demostrado que el pH del café está relacionado con la acidez, un pH entre 4.9 y 5.2 es el rango preferido para una “buena taza de café” [7]. El contenido de carbohidratos de 37.59 ± 3.33 mg g⁻¹ bs (Tabla 4), dicho valor concuerda con el obtenido por Pérez [1] con un valor de 40.52 mg g⁻¹ bs.

Tabla 4. Resultados de las propiedades fisicoquímicas en café verde.

Humedad (%)	Cenizas (%)	Aw	pH	Carbohidratos mg g ⁻¹ bs
11.303 ± 0.192	4.0616 ± 0.0856	0.6252 ± 0.0441	5.8475 ± 0.1493	37.59 ± 3.33

El valor de luminosidad en el café verde fue de 46.78 ± 6.76 (Tabla 5). En el caso del parámetro b* su valor fue de 15.264 ± 1.214 , que corresponde a un color amarillo. El parámetro a* presentó valores lejanos a cero (4.94 ± 2.26) lo que indica que no está cercano a la región acromática. Pérez [1] obtuvo valores de L* y a* que varían significativamente, teniendo valores de 67.95 y 0.71 respectivamente, mientras que en el parámetro b* reporta un valor de 16.55, similar al obtenido en este estudio.

Tabla 5. Parámetros de color en café verde

Parámetros		
L*	a*	b*
46.78 ± 6.76	4.94 ± 2.26	15.264 ± 1.214

Café tostado

Para el café tostado, Pacheco [8] menciona que la humedad es de 2 a 3 %, el resultado de humedad en este estudio fue de 1.748 ± 0.715 , cumpliendo así lo antes mencionado. La norma NMX-F-013-2000 establece como requisito para el café tostado un máximo de cenizas de 5%, el porcentaje de ceniza de las muestras estudiadas se mantuvo en un intervalo deseable, logrando un promedio de 4.3757 ± 0.1268 %. Se puede observar que, en comparación con el café verde, la actividad de agua disminuyó de 0.6252 ± 0.0441 a 0.1878 ± 0.0475 , principalmente por la pérdida de agua en forma de vapor debido a la temperatura elevada del tostado. Pérez [1], indica que los granos de café tostado y molido se almacenan normalmente a humedad no superior al 4%, lo que proporciona aw de entre 0.10 y 0.30, valor que corresponde con los resultados obtenidos en este trabajo. El pH fue de 5.1175 ± 0.0222 , resultado que concuerda con el reportado por Pérez [1] de 5.1. En el proceso de tostado se provocó una disminución de azúcares totales, obteniendo una concentración de azúcares totales de 21.52 ± 2.18 mg glucosa g⁻¹ (Tabla 6), valor que se encuentra dentro intervalo 12.30 – 28.55 mg glucosa g⁻¹, reportado por Pérez [1].

Tabla 6. Resultados de las propiedades fisicoquímicas en café tostado.

Humedad (%)	Cenizas (%)	aw	pH	Carbohidratos mg g ⁻¹ bs
1.748 ± 0.715	4.3757±0.1268	0.1878±0.0475	5.1175±0.0222	21.52 ± 2.18

El proceso para el café tostado afecta significativamente los parámetros de color del grano verde, pasando de un color amarillo-verde a marrón claro, teniendo valores de a* de 7.609 ± 1.581, valores de b* en 5.62 ± 2.58 y valores de L* de 32.92 ± 2.36 (Tabla 7). Pérez [1] alcanzó valores similares en los parámetros de color, con resultados de L*, a* y b* de 38.81, 6.34 y 5.74 respectivamente.

Tabla 7. Parámetros de color en café tostado.

Parámetros		
L*	a*	b*
32.92 ± 2.36	7.609 ± 1.581	5.62 ± 2.58

Conclusiones

Con la metodología utilizada, usando como primer paso el diseño de experimentos, se identificó las condiciones óptimas para la determinación de humedad usando el método de termobalanza. Los parámetros recomendados para la humedad en el café verde son de 159° C, un tiempo de 20 minutos y 9 gramos; mientras para el café tostado es de 128°C, durante 8 minutos y 3 gramos. Lo anterior utilizando la termobalanza Adam PMB 202.

Para la prueba T pareada se confirmó la normalidad de las 2 muestras, lo que permitió comparar la humedad por el método de estufa con el obtenido por la termobalanza, y determinar si las medias de las muestras analizadas diferían entre sí. Por lo que se llegó a la conclusión estadística, con un 95% de confianza, de aceptar la hipótesis nula, tanto para el café verde como para el café tostado, demostrando con evidencia estadística que no existe diferencia significativa entre los resultados de humedad obtenidos en la termobalanza Adam PMB 202 y en el método de estufa. Por lo tanto, se puede validar el correcto funcionamiento de los equipos antes mencionados, siempre y cuando se establezcan los parámetros ideales encontrados en el diseño de experimentos.

En la caracterización fisicoquímica para el café verde y tostado se pudo observar que la prueba de humedad se encontró dentro de los parámetros establecidos, igualmente las pruebas de cenizas, actividad de agua, pH, carbohidratos y color, dicho esto se puede concluir que los productos cosechados y procesados por la empresa poseen las características necesarias para exportar el café verde y tostado, garantizando su calidad.

Referencias

- [1] M. Pérez, *Compuestos fenólicos y perfil de ácidos grasos en granos de café (Coffea arabica L.) verde y tostado de variedades e híbridos cultivados en Coatepec, Veracruz, Xalapa, Ver. : Universidad Veracruzana. Instituto de Ciencias Básicas. Maestría en Ciencias Alimentarias. , 2016.*
- [2] E. Figueroa, F. Pérez y L. Godínez, *La producción y el consumo del café*, México: ECOFRAN-Spain, 2015.
- [3] V. Rodríguez, «Fórumcafé,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.revistaforumcafe.com/humedad#:~:text=Cuando%20el%20caf%C3%A9%20ti>

ene%20una,mohosos%2C%20terrosos%20y%20de%20reposito.. [Último acceso: 01 septiembre 22].

- [4] R. Sánchez, «t-Student. Usos y abusos,» *Revista Mexicana de Cardiología* , vol. 26, nº 1, pp. 59-61, 2015.
- [5] R. Añamuro, *Efecto del almacenamiento del café pergamino variedad bourbon (Coffea arabica L.) en las propiedades físicas y sensoriales*, Peru: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias , 2015.
- [6] Ecotact, «Perfect Daily Grind Español,» 2018. [En línea]. Available: <https://perfectdailygrind.com/es/2018/04/24/como-proteger-el-cafe-verde-del-exceso-de-agua/>. [Último acceso: 7 Diciembre 2019].
- [7] X. Galindo, «Producción e industrialización del café soluble. Caso: Solubles instantáneos,» *Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Económicas*, pp. 55-58, 2011.
- [8] V. Pacheco, *Estimación del tiempo de vida útil del café tostado tipo premiun (Coffea arabica) en diferentes empaques mediante pruebas aceleradas*, Lima-Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Industrias Alimentarias , 2016.
- [9] ANACAFÉ, «ANACAFÉ Asociación nacional del café,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.anacafe.org/manuales/guia-de-variedades-de-cafe-guatemala/>. [Último acceso: 23 junio 2022].
- [10] NMX-F-013-2000, «Café puro tostado, en grano o molido, sin descafeinar o descafeinado, especificaciones y métodos de prueba,» 2000. [En línea]. Available: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-f-013-scfi-2010.pdf>. [Último acceso: 25 agosto 2022].
- [11] NMX-F-597-SCFI, «Café verde-Especificaciones, preparaciones y evaluación sensorial,» 2016. [En línea]. Available: <https://media.gotomexico.today/reglament/nmx-f-597-scfi-2016.pdf>. [Último acceso: 18 agosto 2022].

Mejora del rendimiento de un proceso mediante Kaizen, en una empresa de acuicultura en México

L. G. González Sosa¹, B. A. Villalobos Martínez², L. M. Blanco González², J. K. López Orduña², J. A. Sarmiento Torres²

¹Alumna de la carrera de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Carretera Panamericana km 1080, CP 29050, Tuxtla Gutiérrez, México

²Docente del departamento de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Carretera Panamericana km 1080, CP 29050, Tuxtla Gutiérrez, México
[*bruno.vm@tuxtla.tecnm.mx](mailto:bruno.vm@tuxtla.tecnm.mx)

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

El presente trabajo muestra el desarrollo de un proyecto de mejora en una empresa de acuicultura del sur de México. El desarrollo de dicho trabajo se basó en las etapas de un proyecto tradicional DMAIC, pero sin buscar el objetivo de implementar un proyecto tradicional de Seis Sigma, sino más bien, utilizarlo como guía para el lanzamiento de eventos Kaizen, que permitan implementar mejoras pequeñas pero sustanciales para el proceso de producción. Una parte clave del proyecto fue el desarrollo del VSM de estado actual para identificar los puntos críticos de mejora del proceso de producción considerando las variables más importantes delimitadas en la etapa de definir del proyecto, esto permitió desarrollar eventos Kaizen que se enfocaran en ser efectivos y con beneficios potenciales sustanciales para el proceso.

Palabras clave: Kaizen, DMAIC, mejora continua, VSM

Abstract

This paper shows the development of an improvement project in an aquaculture company in southern Mexico. The development of such work was based on the stages of a traditional DMAIC project, but without seeking the objective of implementing a traditional Six Sigma project, but rather, using it as a guide for the launch of Kaizen events, which allow to implement small but substantial improvements for the production process.

A key part of the project was the development of the VSM of current state to be able to identify the critical points of improvement of the production process considering the most important variables delimited in the stage of defining the project, this allowed to develop Kaizen events that focused on being effective and with substantial potential benefits for the process.

Key words: Kaizen, DMAIC, continuous improvement, VSM

Introducción

La mejora continua en las empresas es un aspecto fundamental para su adecuado funcionamiento y posterior crecimiento en aras de lograr sus objetivos organizacionales, no se puede pretender que una empresa tenga éxito si no se encuentra comprometida con su propio proceso de mejora, según la idea de Guerra-López [2]. En la actualidad, existen muchas metodologías diferentes para lograr la mejora de los procesos, pero nada detiene a las empresas de utilizar tantas herramientas o la combinación de ellas que mejor les parezca para conseguir los objetivos de mejora que persiguen como lo presentan Quesado, Matias y Pimentel [4] en su trabajo.

Dado lo anterior, en este trabajo se desarrolló un proceso de mejora cuyo eje central fue la implementación de eventos Kaizen, pequeñas pero sustanciales mejoras como Socconini [6] sugiere debido a que éstas ofrecen un mejor resultado, permiten obtener beneficios de ellas y cimentar un proyecto de mejora aún más grande a futuro; para lograr esto se comenzó a trabajar sobre la base metodológica de Seis Sigma, que de acuerdo con Quick [5] éstas pueden orientar el trabajo de un proyecto de mejora continua, y el diagnóstico se sustentó principalmente en el desarrollo de un VSM para que con ayuda de éste se pudieran lanzar los eventos de mejora Kaizen como se ejemplifica en 50Minutos [1].

Metodología

El desarrollo del presente proyecto se realizó con base en las etapas de un proyecto de Seis Sigma, por lo que estas etapas son las que guían el desarrollo del mismo, no obstante, sólo funcionan como marco de referencia para el desarrollo del proyecto y por lo tanto no se utilizó el conjunto de herramientas tradicionales de la metodología y, por otra parte, se incluyeron otras herramientas de ingeniería industrial que permitieran obtener los beneficios que la empresa buscaba, en particular, aquellas que permitieron el desarrollo de eventos Kaizen.

Etapa Definir

El comienzo de la metodología consistió en el desarrollo de la etapa de Definir que, en este caso, incluyó un Project Charter, un breve diagrama de flujo, un diagrama de flujo de proceso, la definición de las variables del proceso que se utilizan para evaluar su desempeño al momento del desarrollo de la etapa y la definición de las variables críticas para la calidad o CTQ's, lo que según Liker [3] hace que el proceso de mejora sea más efectivo. Es importante mencionar que los diagramas o información que se presente en el trabajo procurarán reservar la información sensible sobre la empresa y se presentará únicamente aquella que sea relevante para la comprensión del proyecto. Los pasos para esta etapa son los siguientes:

1. Se comenzó fue la realización de un Project Charter (Figura 1) con el que se consolidó la importancia de trabajar en la mejora del rendimiento del proceso de producción ya que constantemente se tenían fluctuaciones en el rendimiento y se definió, junto con la administración de la empresa, que se tomarían acciones para mejorar el porcentaje del rendimiento, ya que éste sería el principal indicador para medir el éxito del proyecto, mediante el desarrollo de mejoras incrementales que permitieran incluir cambios concretos y no de gran escala pero muy significativos para el desempeño del proyecto.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO			
PROBLEMA / OPORTUNIDAD	La producción se ha visto afectada de manera significativa en la obtención de los rendimientos óptimos de la materia prima en las líneas de valor agregado.		
PROPÓSITO DEL PROYECTO	Reducir fluctuaciones de la eficiencia del rendimiento en el proceso con base en la metodología DMAIC, para la mejora de la productividad.		
CASO DE NEGOCIOS	Aumentar el porcentaje en la eficiencia del rendimiento actual en Planta Proceso.		
METAS / METAS	Propuestas de mejoras para la productividad y la eficiencia del rendimiento.		
ENTREGABLES ESPERADOS	Elaboración de plan de acción y un documento digitalizado.		
ALCANCE Y CRONOGRAMA DEL PROYECTO			
DENTRO DEL ALCANCE DEL PROYECTO	Identificar las situaciones que afectan la eficiencia del rendimiento en la Planta Proceso, accediendo al proceso para realizar diagnósticos y a datos generales que involucran el rendimiento. Proporcionando finalmente un plan de acción en el mes de diciembre.		
FUERA DEL ALCANCE DEL PROYECTO	Acceso a otras áreas que no incluyen al proceso o realización de actividades externas al enfoque del proyecto.		
CRONOGRAMA TENTATIVO	HITOS CLAVE		
	Asignación del proyecto y conformación del Equipo de Proyecto	09/06/2021	09/10/2021
	Reconocimiento de la planta y el área de trabajo	09/13/2021	10/01/2021
	Identificación de actividades que no generen valor al producto mediante un diagnóstico visual	09/13/2021	10/01/2021
	Elaboración del Project Charter	09/27/2021	09/28/2021
	Determinación de tiempos muertos en las líneas de operación	10/04/2021	10/07/2021
	Señalar actividades que no generen valor agregado	10/08/2021	10/14/2021
	Analizar las condiciones de seguridad en las áreas y el reporte de mermas del proceso.	10/18/2021	10/19/2021
	Proponer estrategias de mejora con base en los resultados obtenidos	10/20/2021	11/13/2021
	Elaborar un plan de acción	11/15/2021	11/25/2021
Documentar los datos como un proyecto final	11/26/2021	12/06/2021	

Figura 1. Sección del Project Charter del proyecto.

2. Posteriormente, se comenzó a “conocer” las principales etapas del proceso de producción, tanto su ubicación en el proceso, así como, cada una de sus actividades a detalle, por lo que se elaboró un diagrama de flujo de proceso, como se ve en la Figura 2. En este diagrama se muestran las 6 principales etapas del proceso de producción, cabe mencionar que todos los productos, sin importar su presentación final, tienen que pasar por todas las áreas, aunque las operaciones a detalle pueden variar ligeramente.



Figura 2. Diagrama de flujo de las principales actividades del proceso.

3. Se realizaron diagramas de flujo de proceso como el que se observa en la Figura 3 para conocer a detalle las actividades que se hacen en cada una de las principales etapas del proceso de producción. Es importante mencionar que no se elaboraron únicamente 6 diagramas (uno para área principal), ya que hay algunas etapas que cambian la manera en la que procesan un producto dependiendo de la salida que se espera de ellos, por ejemplo, no es lo mismo realizar el arreglado (etapa 4) de un producto que sólo se venderá como un filete que de un producto que se venderá como cubos de pescado, por eso fue necesario elaborar un diagrama para cada etapa del principal producto y conocer así, que variables son las importantes para cada área.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO								
Página:	1 de 1	Método actual		Método propuesto				
Empresa:				Área: Degolle				
Observador:	Leslie Gabriela González Sosa			Fecha: 10 de octubre de 2021				
Resumen		Operación	Inspección	Transporte	Demora	Almacenamiento		
Total:	23	8	0	10	5	0		
Tiempo (s):	3523	2661	0	97	765	0		
Distancia (cm):	4410	1645	0	2490	275	0		
No.	ACTIVIDADES	SÍMBOLO			TIEMPO (s)	DISTANCIA (cm)	OBSERVACIONES	
1	Entrada de la mojarra a Hopper	○	□	→	2	75		
2	Pesado en Hopper	○	□	→	3	-		
3	Descenso al tanque de aturdido	○	□	→	2	20		
4	Anestesiado en el tanque	○	□	→	972	600	Temperatura 11° - 14.5°	
5	Caída a la mesa de degolle	○	□	→	5	10		
6	Sacrificio de la mojarra manualmente	○	□	→	3	35	Si la mojarra no es anestesiada completamente, el operario tarda en degollarla	
7	Desplazo al tobogán	○	□	→	12	15		
8	Llegada al tanque de desangrado	○	□	→	6	600		
9	Deceso de la mojarra en el tanque	○	□	→	1090	550	Si la residencia es menor a los 20 min, el filete es rojo	
10	Espera mientras es introducida a Grader manualmente	○	□	→	18	250		
11	Introducción a Grader	○	□	→	2	30		
12	Pasar por Grader	○	□	→	3	400		
13	Subir por banda elevadora	○	□	→	16	400		
14	Caída en banda transportadora	○	□	→	2	20		
15	Transporte a las básculas de descamadoras	○	□	→	35	840	Se tomaron los datos de la descamadora más lejana 200 - 250 kg	
16	Llenado de básculas	○	□	→	110	30		
17	Espera mientras abre la descamadora	○	□	→	412	-		
18	Entrada a la descamadora	○	□	→	3	50		
19	Descamado del pescado	○	□	→	479	-	La residencia no debe ser menor a 7 minutos	
20	Salida de escamadora	○	□	→	6	15		
21	Entrada al tanque de desinfección por banda	○	□	→	12	120		
22	Permanencia en el tanque	○	□	→	324	-	Depende de filete, la residencia	
23	Salida a Área de Fileteo	○	□	→	8	350		
TOTAL		8	0	10	5	0	3523	4410
PORCENTAJE		35	0	43	22	0		

Figura 3. Diagrama de flujo del proceso del degolle de producto.

4. Se recolectaron las variables que la empresa utiliza actualmente para evaluar al desempeño del proceso, pero de forma general (Tabla 1), es decir, no se planean como una evaluación etapa por etapa al proceso, sino que se evalúan al final o en algún punto posible. Debido a lo anterior, se consideró necesario determinar las variables críticas para evaluar el desempeño de cada una de las etapas individuales del proceso, de esta manera se aseguran variables significativas al desempeño y relevantes para cada área.

Para la determinación de las variables críticas, se analizaron los diagramas de flujo del proceso para cada área como se presenta en la Figura 3 y se trató de considerar la importancia de las variables que ya se utilizaban actualmente (Tabla 1), con tal información en mente se elaboró un diagrama SIPOC que permitiera ver el panorama más grande, considerando principalmente las entradas y salidas para el proceso de producción. Una vez elaborado este diagrama (el cual se omitió por razones de espacio) se procedió con la determinación de los CTQ's, los cuales permitieron establecer las variables más importantes para cada una de las principales áreas del proceso de producción con respecto del rendimiento de cada una de ellas de modo tal que se escuchara a la voz del cliente de cada área. Un fragmento para 3 de las 5 áreas del proceso de producción se muestra en la Figura 4, en donde puede verse el resultado del desarrollo del árbol de los CTQ's elaborado.

Tabla 1. Variables para medir el rendimiento del proceso.

VARIABLES	DESCRIPCIÓN
Tiempos por minutos	Permite el establecimiento de estándares antes de iniciarse la producción. Peces por minutos, arreglado de filete por minuto y arreglado de lomo por minuto
Temperatura	Magnitud escalar necesaria para mantener en buen estado de la biomasa. Temperatura del agua y temperatura del área
Cantidad de inventarios	Registros tanto de entradas como de salidas en el proceso de producción de la empresa.
Cantidad de peces	Número de peces improcesables, peces muertos, peces pequeños y peces lesionados al día
Número de reprocesos	Cantidad de filetes que no son 100% despielados y tienen que volver a despielarse.
Cantidad de materiales de empaque	Control de material de empaque, en diferentes procesos del área de empaque
Cantidad de merma	Registro de los filetes mixtos, filetes en el piso, retazos

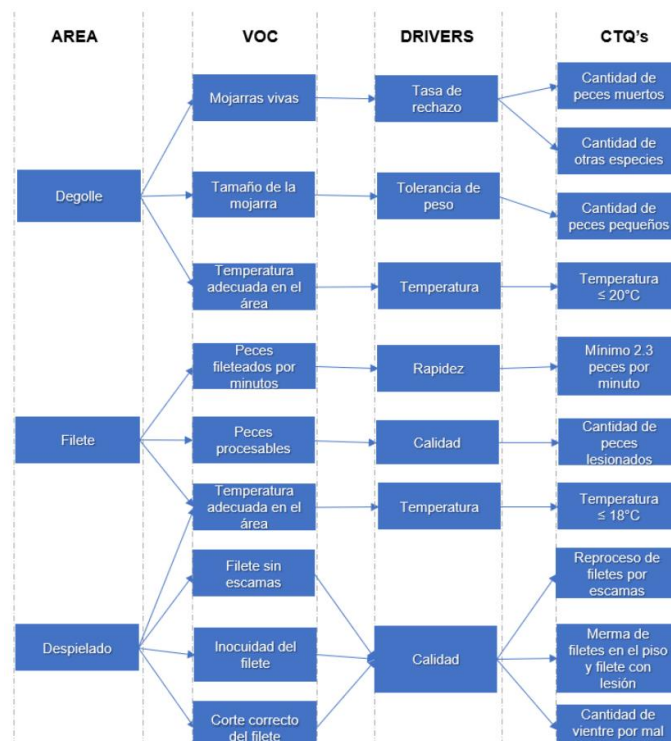


Figura 4. Definición de variables críticas para la calidad (CTQ's).

Etapa Medir

La determinación de los CTQ's que se realizó en el punto anterior se utilizó para establecer cuáles eran las variables importantes a medir en la siguiente etapa de la metodología en el desarrollo de DMAIC, medir. Lo realizado en esta etapa fue lo siguiente:

1. La Tabla 2 muestra un ejemplo de la medición de una de las variables que se midieron para la etapa de medir, todas correspondientes a las que se obtuvieron de la determinación de los CTQ's, cabe mencionar que no se hizo la presentación de todos los resultados de las variables ya que se considera a varias de las variables como información sensible de la empresa además de ser impráctico por el espacio disponible.

2. Posteriormente, para la misma etapa de medir se realizó un recorrido en el piso de producción ya que es muy importante observar de primera mano lo que sucede al recolectar la información, hablar con las personas involucradas y conocer su punto de vista, este recorrido, también conocido como Gemba walk, permitió recabar una serie importante de observaciones e ideas de los involucrados en el proceso, una parte del resultado de este análisis se presenta en la Figura 5.

Tabla 2. Ejemplo de medición

Temperatura en Degolle	
Fecha	°C
13/09/2021	19
14/09/2021	18
15/09/2021	20
16/09/2021	19
20/09/2021	19
21/09/2021	21
22/09/2021	19
23/09/2021	18
24/09/2021	19
27/09/2021	21
28/09/2021	19
29/09/2021	21
30/09/2021	19
01/10/2021	19
04/10/2021	21
05/10/2021	19
06/10/2021	19
07/10/2021	20
08/10/2021	19
11/10/2021	19
12/10/2021	21
13/10/2021	20
14/10/2021	19
15/10/2021	18
18/10/2021	19
19/10/2021	19
20/10/2021	19
21/10/2021	20
22/10/2021	19
25/10/2021	19

GEMBA WALK		
ÁREA	CONDICIONES INSEGURAS	CAUSAS/CONSECUENCIAS
DEGOLLE	Temperatura a 19°C	La temperatura con el EPP no es adecuada para los operarios A
	Las escamas se atascan en succionador de agua	El agua y las escamas se salen del contenedor y el piso es mojado
	El agua del tanque de desagrado se derrama por los laterales y cae por el alimentador a Grader	El piso se encuentra siempre mojado y resbaloso
FILETEO	Tapa de difusor está despegada	Puede caerse en cualquier momento, hiriendo a algún filetero e incapacitándolo.
	La temperatura debería estar <18°C y se encuentra a 23 °C	Los operarios se sudan por la temperatura elevada, pudiendo contaminar a los filetes
	Merma en el piso	Piso resbaloso, pudiendo causar un accidente
DESPELADO	El material del piso en conjunto a la grasa que cae	Se tiene que caminar con precaución y más lento, porque existe un alto riesgo de caerse, por ser muy resbaloso
	La temperatura debería estar <18°C y se encuentra a 22°C	Los operarios tienden a acortarse y podrían contaminar con sudor al producto
	Se requiere una escalera asegurada por TRIO 3 y falta un pasamanos	Se tiene un escalón resbaloso, los operarios que frecuentan la zona pueden accidentarse
	Falta una adaptación para llegar al chiller 2	Puede haber un accidente por saltar la banda transportadora, los operarios saltan la banda transportadora
	Piso dañado	Va que la forma segura de caminar en el piso es arrastrando un poco los pies, las personas se tropiezan
	Existe una manguera mal ubicada y desordenada	Puede caerse algún operario, debido a un tropiezo por esta.
	Existen lámparas fundidas en el área	La calidad de la iluminación no es buena
	Chiller 1 está desrivelado	Los operarios pueden golpearse la mano al querer desatorar el chiller
	Detenedor de filetes en chiller está suelto	Los operarios que trabajan debajo de ellos, pueden ser golpeados al subir el chiller
	La piel que se recolecta en taras, es empujado por debajo del chiller	El espacio es muy pequeño y los operarios se suelen golpear la cabeza
ARREGGLADO	Exceso de merma en el piso	Las Mécricas que tienen de arreglado, implican tirar merma por todos lados, pudiendo haber riesgos.
	Pasillo principal angosto	Las personas suelen golpearse al pasar, principalmente los arregladores de las últimas dos líneas.

Figura 5. Extracto del análisis del Gemba walk

Etapa Analizar

La siguiente etapa de la metodología desarrollada en el proyecto fue la etapa de analizar, para esta se desarrollaron la siguiente serie de pasos:

1. Se comenzó realizando un VSM de estado actual del proceso de producción para identificar las áreas de mejora en el proceso de producción, el cual se presenta en la Figura 6.

El mapa de estado actual se elaboró con base en el producto más vendido para la empresa que son los filetes y se colocaron las variables que mejor representaron la situación actual, pero evitando colocar información sensible del proceso de producción o que se considerara inapropiada para divulgar. De la elaboración del mapa se lograron identificar dos áreas puntuales que necesitaban atención pronta para la mejora de su situación, las cuales fueron el área de despielado y el área de empaque, siendo el despielado el área con una mayor cantidad de problemas, entre ellos, la temperatura del área, el tiempo de procesamiento, la cantidad de mermas registradas para el área y sus diferentes fuentes.

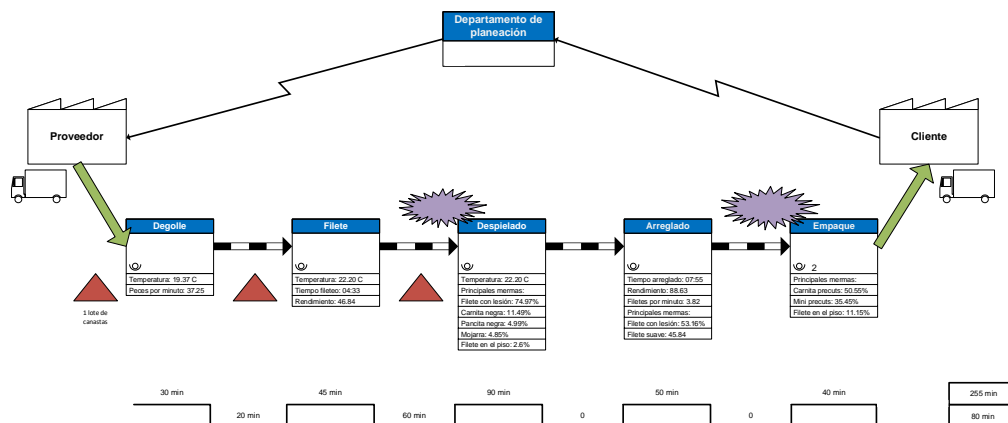


Figura 6. Value Stream Map de estado actual del proceso de producción de filetes.

2. Además de la elaboración del VSM de estado actual se hicieron gráficas para cada uno de los CTQ's que se identificaron en la etapa de definir para cada una de las principales etapas del proceso, lo que derivó en la realización de 17 gráficas en total, una para cada uno los CTQ's, estas permitieron analizar los valores de cada una de estas variables en comparación con sus valores esperados. Para ejemplificar lo anterior se utiliza la Figura 7, en donde se muestran los valores de temperatura para el área de degolle; en esta figura se puede observar cómo los valores de temperatura durante 30 días seguidos se mantuvieron mayormente bajo el nivel de temperatura ideal, pero en algunos días estos valores se excedieron, lo que provocó mermas, tales como los filetes suaves o con coloración negra que se observan en el VSM de estado actual de la Figura 6.

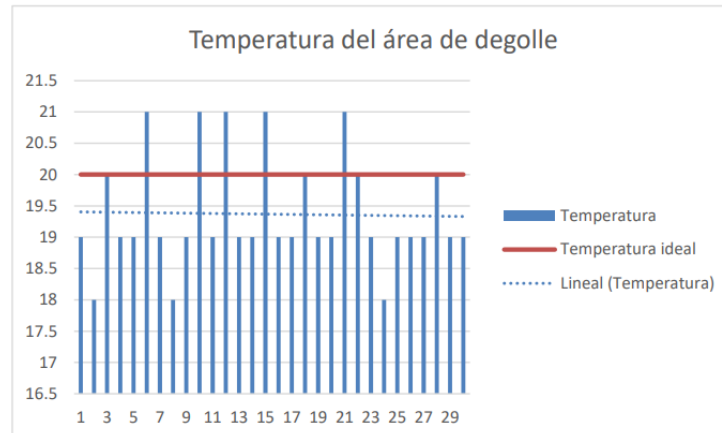


Figura 7. Medición del CTQ de la temperatura del área de degolle.

3. Con el análisis del VSM de estado actual y los resultados de la graficación de las variables de los CTQ's se plantearon una serie de mejoras a implementarse a modo de eventos Kaizen, las cuales corresponden al inicio de la etapa de mejorar de la metodología de Seis Sigma, los que permitieran llevar a cabo pequeñas acciones con grandes impactos en el proceso de producción, una parte de toda la serie de mejoras propuestas se muestran en la Tabla 3, cabe mencionar que solamente se muestran una parte de todas las propuestas debido a la limitación de espacio, pero se presentan algunas de las que se consideran más relevantes.

Tabla 3. Propuestas de mejora generadas

ÁREA	PROBLEMAS ENCONTRADOS / OPORTUNIDADES DE MEJORA	EXPLICACIÓN Y/O CONSECUENCIA	SOLUCIÓN PROPUESTA	BENEFICIOS
Filete	Se envían peces enteros en la banda transportadora de esqueletos	El personal no cumple con las normas y reglas establecidas en el proceso por falta de compromiso, además de tener desviaciones y fluctuaciones en el proceso productivo	PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE CAPACITACIÓN PARA LA DISMINUCIÓN DE FLUCTUACIONES DE RENDIMIENTO EN PLANTA PROCESO	Se disminuye e incluso se elimina el porcentaje de peces enteros, pasando únicamente esqueletos en banda transportadores, aumentando el porcentaje de rendimiento en el área.
	Se tiene eficacia en los cortes de filetes, pero no una eficiencia	Tener rapidez en los cortes no quiere decir que se estén cortando adecuadamente el filete y aprovechando al 100% la carne del filete		Mejorar la actitud, conocimiento y habilidades del personal buscando perfeccionar al colaborador en su puesto de trabajo
Despielado	Alto porcentaje de vientre en las canastas de filete	Ya que las canastas no son revisadas antes del peso final algunas contienen peces pequeños o mucho vientre, al momento de pesarlas intervienen en la fluctuación		Las canastas sólo contienen filetes, eliminando las malas prácticas de manufactura que se están detectando
Empaque	Filete y lomo mixto utilizado para precut	El producto que no es manipulado correctamente se envía como subproducto		Si el grado de preparación de los empleados es alto, también lo será su productividad aumentando la calidad de trabajo y reduciendo el filete mixto en el área
Empaque	Cantidades aproximadas de producto IVP	No se está haciendo el pesaje adecuado de los productos IVP, alterando el rendimiento por las cantidades inciertas		MATRIZ RACI

Etapa Mejorar

Para la etapa de mejorar se desarrollaron diferentes eventos Kaizen en busca de atacar los principales problemas identificados en etapas posteriores, estos eventos fueron los siguientes:

1. Se realizó la implementación de un programa de capacitación ya que se identificó que muchas de las causas que generaban problemas, mermas o bajas en el rendimiento de cada una de las áreas se relacionaba a un proceso de trabajo no estandarizado por parte de los operarios. Por lo anterior se desarrollo un plan de capacitación que permitiera identificar las necesidades de cada uno de los operarios en el piso de producción, por lo que se involucró a los operarios con el fin de conocer sus necesidades específicas para poder atacar los problemas encontrados durante la etapa de medir y analizar. Dado el tamaño del programa de capacitación solo se muestran los pasos que se consideraron para la elaboración del programa de capacitación en la Figura 8.



Figura 8. Proceso para el desarrollo del programa de capacitación.

2. Se desarrollaron de mejoras para el área de despielado para reducir los efectos de las mermas debido a los filetes suaves o los filetes en el piso. Como se ve en la Figura 9, los filetes constantemente se apilan y se caen al piso, lo que puede provocar problemas de filete suave y filete en el piso como se observó en el VSM de estado actual, por lo que se desarrollaron mejoras en el diseño de la entrega de los filetes de la despieladora para que estos se mantuvieran en su lugar, con mejoras muy simples pero que eliminaran el problema de raíz, como se muestra con los rediseños de la Figura 10.



Figura 9. Problemas identificados en despielado

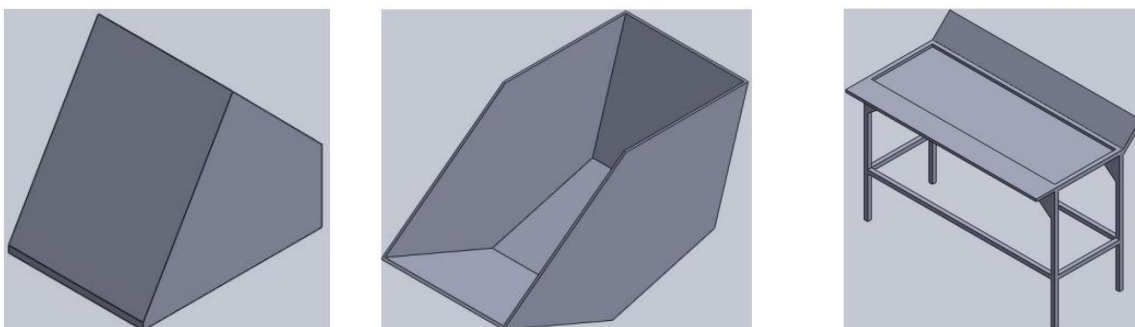


Figura 10. Modificaciones para eliminar mermas en despielado

- Se realizó una matriz de asignación de responsabilidades, presentada en la Figura 11, con la participación de los operarios y los encargados del proyecto, para determinar claramente las responsabilidades de cada persona y atacar diferentes problemas, principalmente la observación de la adecuada temperatura en las áreas y el cuidado de los equipos, lo que permita mantener condiciones de temperatura estables en los diferentes espacios.

ACTIVIDADES		ROLES		MEMBROS DEL ÁREA DE EMPAQUE			
		PRODUCCIÓN	SUPERVISOR	ENCARGADO	EMPAQUE IVP		
					OPERARIO A	AYUDANTE GENERAL	CALIDAD
1	Verificar el estado y condiciones de la maquinaria Termofomadora	A	I	C	R		
2	Asegurar las modificaciones y captura de especificaciones en el sistema	A	I	C	R		
3	Utilizar EPP distintivo del área, la limpieza y orden inmediata	A	I	C	R		
4	Clasificar el producto dispuesto a la alimentación de la termofomadora	A	I	C		R	
5	Separar en taras diferentes los que cumplen y no cumplen los requerimientos	A	I	C		R	
6	Garantizar el paso y empaque al vacío de producto de calidad	A	I	C	R		A
7	Alimentar de manera continua la termofomadora llenando todos los molles de esta	A	I	C		R	
8	Recibir el producto que sale de la termofomadora	A	I	C		R	
9	Realizar la inspección continua de la operación de la máquina	A	I	C	R		
10	Separar el producto que no cumple con las especificaciones requeridas	A	I	C		R	A
11	Acomodar 40 o 50 piezas en bandejas según el producto procesado	A	I	C		R	
12	Colocar las bandejas en los carritos de manera ordenada	A	I	C		R	
13	Llevar el carrito a la báscula patín para realizar su pesaje	A	I			R	
14	Descontar al peso generado el peso del carrito con bandejas y el peso del IVP	A	I			R	
15	Anotar los datos en la papeleta	A	I			R	
16	Inspeccionar que los datos sean correctos	A	I	R			C
17	Aprobar los datos en la papeleta	A	I	C			R
18	Llevar carrito al área de empaque de IVP	A	I	C		R	

Figura 11. Matriz de asignación de responsabilidades.

- Se llevó a cabo la organización del personal de los equipos de despielado, de modo tal que se pudiera mantener a los equipos operando todo el tiempo, ya que la despieladora es un área que es un cuello de botella en el proceso de producción. Para esta actividad, si bien no se implementó SMED, si se utilizó la misma idea de separación de actividades internas y externas, su clasificación y perfeccionamiento para el ordenamiento de las tareas y mantener a las máquinas operando al 100%, evitar los tiempos de paro, el equipo y personal se muestra en la Figura 12 y su ordenamiento se explicó por medio de las imágenes a los operarios.

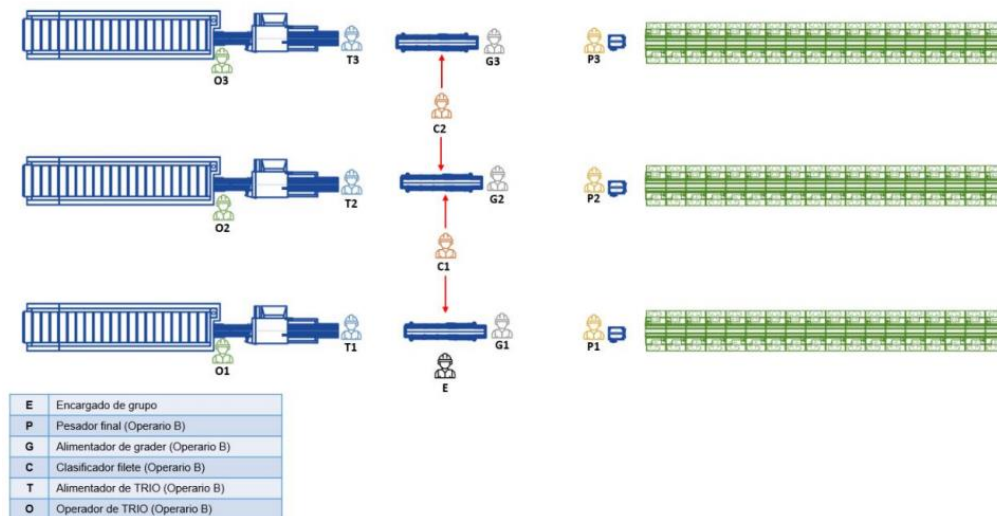


Figura 12. Maquinaria y personal del área de despielado.

- Este evento se realizó para el área de despielado también, buscando mantener su operación al 100% y la reducción de los tiempos de paro para tal área, este evento surgió a raíz del análisis de las fallas en el área

de despielado, como se ve en la Tabla 4, ya que una que se producía de forma repetitiva eran los paros por motivos de la cuchilla de corte.

Tabla 4. Fallas para el área de despielado

Inicio de Paro	Fin de Paro	Duración	Sub- (Equipo/Proceso)	Descripción de la causa del paro	Acción correctiva	Tipo de falla
14:45	15:00	15.00	cuchilla	cuchilla rota	cambio de pieza	Mantenimiento
02:30	02:45	15.00	cuchilla	cuchilla rota	cambio	Mantenimiento
12:20	12:45	25.00	cuchilla	cuchilla rota	cambio	Mantenimiento
06:50	07:50	60.00	cuchilla	falta de refacciones (cuchilla) trio 3	cambio de piezas	Mantenimiento
10:05	10:25	20.00	cuchilla	cuchilla rota	cambio	Mantenimiento
10:00	10:19	19.00	Cuchilla	cuchilla en mal estado	cambio de cuchilla	Mantenimiento
11:50	12:05	15.00	Cuchilla	cuchilla rota	Cambio	Mantenimiento

Una falla recurrente para esta área fue el cambio de cuchillas en las despieladoras y se detectó que el cambio de estas requería de mucho tiempo, sin ser necesario, por lo que se decidió cambiar el lugar de almacenamiento de las cuchillas lo que redujo considerablemente los traslados para hacer los cambios de este componente vital como se observa en la Figura 13.

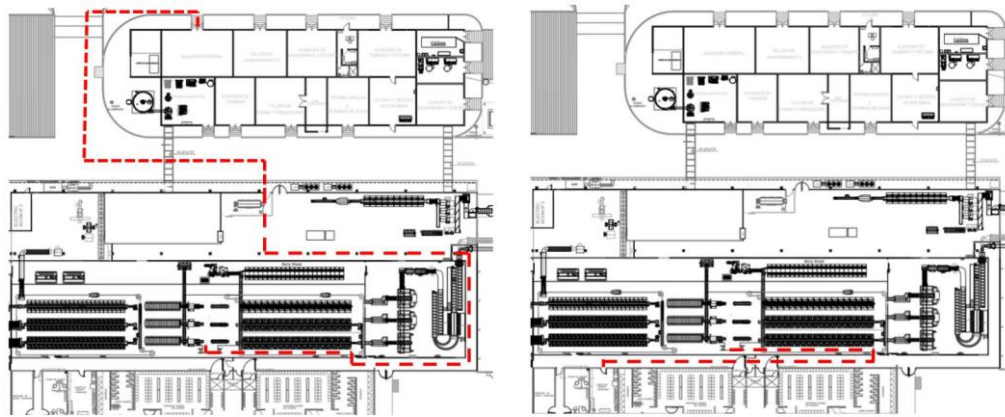


Figura 13. Antes y después del cambio de almacenamiento de las cuchillas para despieladora.

Resultados y discusión

Para el desarrollo del proyecto se obtuvieron una gran cantidad de resultados diferentes, por mencionar dos: la Tabla 5 presenta los resultados del cambio del lugar de almacenamiento de las cuchillas y la Figura 14 presenta las reducciones de tiempo muerto para la organización de las actividades en el área de despielado. En este caso ambos eventos Kaizen representaron un beneficio para la empresa, el primero con una mejora directa del rendimiento de poco más del 4% y el segundo con una mejora de reducción de tiempo muerto del 70%, lo que demostró la efectividad de los eventos Kaizen.

Tabla 5. Antes y después del cambio de cuchillas

Método	Actual	Propuesto
Lugar	Cuchilla en almacén general	Cuchilla en Planta Proceso
Tiempo de traslado (minutos)	19.13	5
Distancia (metros)	175	80
Tiempo de cambio de cuchilla (minutos)	5	5
Tiempo total (minutos)	24.13	10.00
Tiempo total (Segundos)	1453.00	600.00
Filetes por minuto	3148	1300
Canastas acumuladas	84	35
Rendimiento	32.01%	36.79%



Figura 14. Actividades antes y después de la mejora SMED

Del desarrollo de las mejoras propuestas para el proyecto, se realizó una comparación de los valores actuales de rendimiento, el indicador de desempeño general del proyecto, presentado en la Figura 15. En esta gráfica se puede ver que el valor promedio es de 32.5% para el rendimiento actual, señalado con una línea de color azul y que, comparado con lo esperado con la implementación de los eventos Kaizen, éstos ofrecen una mejora del 11.5%, alcanzando valores de rendimiento global de 44% como se ve con las barras de color verde.

Finalmente se realizó un estimado de los ahorros esperados con la implementación de las mejoras, lo cual da una idea más clara del impacto de las mejoras propuestas, en este caso se esperaría que, si se logran implementar todas las mejoras propuestas, la empresa consiga un ahorro de poco más de \$ 114,000 al mes, por sólo el desarrollo de eventos Kaizen, como se observa en la Tabla 6, cabe mencionar que no es posible hacer una comparación del antes y después debido a que la empresa prefiere reservar los montos totales.

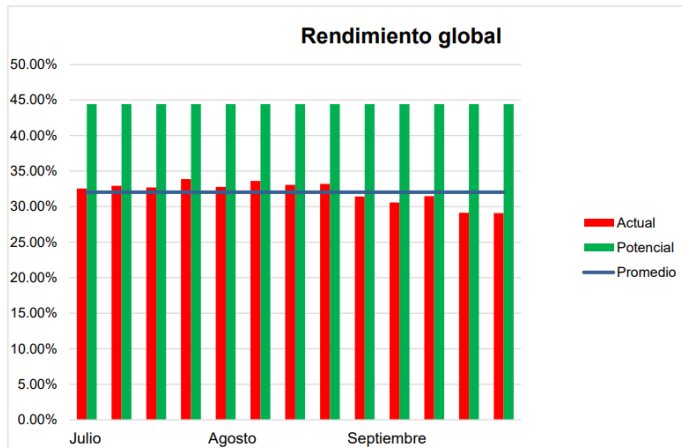


Figura 15. Comparación del rendimiento actual vs esperado.

Tabla 6. Impacto potencial de los eventos Kaizen.

Producto	Promedio (lbs)	Biomasa (kg)	Costos (\$)
Filete suave	2,129.25	3,163.57	\$ 75,925.70
Filete en el piso	1,073.14	1,594.44	\$ 38,266.60
Impacto potencial de las mejoras mensuales			\$ 114,192.29

Conclusiones

En conclusión, el desarrollo del proyecto trajo consigo una cantidad importante de beneficios para la empresa, primero que nada, se comprobó la efectividad de combinar herramientas de ingeniería industrial para el beneficio de la organización, utilizando la metodología de Seis Sigma para guiar el desarrollo del proyecto, el VSM para identificar las posibles áreas de mejora y comenzar con el desarrollo de los eventos Kaizen lo que traería consigo una mejora del 11.5% del rendimiento global, el principal indicador del proyecto.

El segundo beneficio principal del proyecto fueron los ahorros potenciales de la implementación de los eventos Kaizen ya que, únicamente considerando la mejora en el rendimiento de los procesos se pueden tener beneficios potenciales que ascienden hasta los \$114,000.

Referencias

- [1] 50Minutos, "El mapa del flujo de valor: los secretos de la herramienta clave del Lean Manufacturing", pp. 9-12, 50Minutos.es, 2017
- [2] I. J. Guerra-López, "Evaluación y mejora continua: Conceptos y herramientas para la medición y mejora del desempeño", pp. 9-11, AuthorHouse, 2007
- [3] J. K. Liker, "Las claves del éxito de Toyota: 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo", pp. 215 - 220, Gestión2000, 2019
- [4] J. L. Quesado Pinto, J. C. O. Matias, C. Pimentel, "Just in time factory: Implementation through Lean Manufacturing tools", pp. 113-120 Springer, 2018
- [5] T. Quick, "Splitting the DMAIC: Unleash the power of continuous improvement", pp 1 – 30, Quality Press, 2019
- [6] L. Socconini, "Lean Manufacturing: paso a paso", pp. 125-130, Alpha Editorial, 2019

Resultados de Grupo focal para rediseño de prototipo de enseñanza braille

M. Sampayo Cárcamo^{1*}, M.A Limón Díaz², G. Castillo Quiroz³, J.M. Martínez Carrasco⁴, A. Cruz Guerrero⁵
^{1, 4, 5} Departamento de Ingeniería Industrial, ^{2, 3} Departamento de Ingeniería Mecatrónica.
^{1, 2, 3, 4, 5} Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango. Av. Tecnológico No. 80, Col 5 de octubre, 73173. Huauchinango, Puebla, México.

^{1*} m.sampayo.carcamo@gmail.com

² miquel.ld@huauchinango.tecnm.mx

³ gregorio.cq@huauchinango.tecnm.mx

⁴ g20310054@huauchinango.tecnm.mx

⁵ g20310023@huauchinango.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

Una persona cuando recién pierde la vista carece de la sensibilidad táctil necesaria para leer braille, para introducirla al sistema se recomienda el tamaño macro o braille inicial.

La técnica grupo focal fue usada para conocer la opinión de los posibles usuarios del prototipo macro braille, diseñado y construido anteriormente. Al tratarse de participantes con ceguera o baja visión fue necesario modificar las etapas de preparación y desarrollo, verbalizando y describiendo lo más posible durante la presentación y favoreciendo la comunicación táctil y cinestésica mediante el reconocimiento háptico del prototipo.

Los resultados principales, indican que es necesario cambiar las "palabras ejemplo" de cada una de las letras del alfabeto emitidas por el prototipo, de forma que se refieran a objetos de uso cotidiano o de fácil acceso, proporcionando un mejor recurso para los usuarios que nunca en su vida han contado con el sentido de la vista.

Palabras clave: Grupo focal, discapacidad visual, prototipo, braille.

Abstract

When a person first loses his sight, he lacks the tactile sensitivity necessary to read braille, is recommended the macro size or initial braille for introduced to.

The focus group technique was used to know the opinion of the possible users for the macro braille prototype, that was previously designed and built. Being participants with blindness or low vision, it was necessary to modify the stages of preparation and development, verbalizing and describing as much as possible during the presentation and favoring tactile and kinesthetic communication through haptic recognition of the prototype.

The main results indicate that it is necessary to change the "example words" of each of the letters of the alphabet emitted by the prototype, so that they refer to objects of daily use or of easy access, providing a better resource for users who never in their lives have they had the sense of sight.

Key words: Focus group, visual disability, prototype, braille.

Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) existen al menos 2200 millones de personas en el mundo con deficiencia visual o ceguera [1]. En México, según el censo nacional de población y vivienda 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) existen 467,040 personas con discapacidad visual, de las cuales 230,862 son hombres y 236,178 son mujeres [2], generalmente las personas con algún tipo de discapacidad presentan discriminación, deficiente alfabetización y por consiguiente pocas o nulas oportunidades de trabajo. El sistema de lectoescritura que las personas en esta condición utilizan es el sistema braille.

El braille es el sistema de lectoescritura utilizado por personas con discapacidad visual ya sean totalmente ciegas o con debilidad visual importante, su base es el signo generador, un rectángulo vertical con 2 columnas de 3 puntos cada una distribuidos de forma uniforme, cada punto ocupa una posición que se invierte dependiendo de su uso ya sea escritura o lectura [3]. El braille, de manera manual, se escribe de izquierda a derecha por un lado de la hoja de papel y se lee de derecha a izquierda por el otro lado, existen diversos métodos para su aprendizaje entre los que destacan Alborada, Bliseo, Pérغامo y Tomillo [4]

Para apoyar en el aprendizaje del sistema braille algunas instituciones recomiendan el muñeco Braillin, mismo que sirvió de base para desarrollar el prototipo de enseñanza de lectoescritura braille, al ser un dispositivo lúdico, se le asignó el nombre de Tifli, [5] derivado del vocablo griego *tiflos* que significa ciego. Durante su diseño fueron consideradas las recomendaciones de la ONCE (Organización Nacional de Ciegos Española) respecto a la inclusión mediante el método Braitico [6], hoy este prototipo se encuentra en etapa de validación o prueba por posibles usuarios potenciales: personas con discapacidad visual que tengan ciertas nociones del sistema braille o ninguna.

Algunas de las ventajas que representa el conocimiento de sistema braille, así como del lenguaje escrito en general son: [3]

- El sistema braille, como cualquier otro sistema de lectoescritura, es un instrumento básico para la persona, con o sin vista, en todos los aspectos de la vida (escolar, profesional o social).
- El aprendizaje de la lectura (ya sea en tinta o en braille) repercute en el funcionamiento cognitivo general del niño.
- El lenguaje escrito (en braille o en tinta) requiere un nivel de abstracción mayor que el lenguaje oral, por lo que su uso incrementa el pensamiento abstracto.
- La representación gráfica facilita la organización de la información y la reflexión. La comprensión de un texto es mayor cuando se lee directamente que cuando se escucha.
- Los textos musicales, científicos, poéticos, filosóficos, etcétera, requieren un análisis detallado que sólo es posible mediante la lectura personal y directa.

Debido a la importancia que tiene el acceso a la lectoescritura para las personas con discapacidad visual, fue que se desarrolló el prototipo de enseñanza macro braille y conocer la opinión de los posibles usuarios, es importante para poder finalizar el proceso de prototipado y continuar con el desarrollo de la invención.

El prototipo fue desarrollado como contribución al logro de los Objetivos de desarrollo Sostenible (ODS) de la agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) No. 4 Educación de Calidad, meta 4.5 “De aquí a 2030, eliminar las disparidades de género en la educación y asegurar el acceso igualitario a todos los niveles de la enseñanza y la formación profesional para las personas vulnerables, incluidas las personas con discapacidad, los pueblos indígenas y los niños en situaciones de vulnerabilidad” así como también al ODS No. 10 Reducción de las desigualdades, meta 10.2 “De aquí a 2030, potenciar y promover la inclusión social, económica y política de todas las personas, independientemente de su edad, sexo, discapacidad, raza, etnia, origen, religión o situación económica u otra condición” [7]

En Huauchinango, Puebla, existen 3 instituciones que brindan servicios de atención a personas con discapacidad visual, una es el Centro de Rehabilitación Integral Huauchinango (CRIH) que atiende a pacientes de todas las edades mediante apoyo en temas como: terapias de estimulación temprana, clases de braille inicial y braille estenográfico, uso del ábaco cranmer, clases de software parlante, apoyo psicológico a las personas con discapacidad y/o a sus familiares principalmente. Otra es la Unidad de Servicios de Apoyo a la Educación Regular

(USAER) que apoya a las escuelas públicas de educación básica mediante el servicio de acompañamiento por profesoras o profesores de educación especial que adaptan las actividades de la escuela regular para los estudiantes con alguna discapacidad. Ambas instituciones fueron invitadas para participar en la validación del prototipo.

Para conocer la opinión de los posibles usuarios respecto a la utilidad del dispositivo se utilizó la técnica de grupo focal, esta técnica también es conocida con otros nombres como grupo de discusión, discusión de grupo, *focus group* o *group interview*. Sirve para recolectar datos de tipo cualitativo, es una entrevista con carácter grupal usada dentro de las ciencias sociales [8]. Al tratarse de una técnica que privilegia el habla, es ideal para trabajar con personas ciegas o con debilidad visual.

En este caso fue necesario realizar ligeras pero importantes adaptaciones a la técnica, explotando el uso de la verbalización y descripción oral del máximo de elementos posible, durante las fases 1 y 2 del desarrollo de la técnica, mediante la manipulación háptica de un solo prototipo por máximo 2 personas, ya que personas ciegas utilizan el lenguaje oral ajeno y la experimentación táctil propia para obtener la mayor parte de la información, a través de una percepción analítica de los estímulos que reciban, deben primero reconocer las partes de un todo, para posteriormente hacerse la idea del conjunto. Las adaptaciones realizadas se describen en la sección de resultados.

Lo anterior, con el objetivo de mejorar el prototipo, una vez conocidas las opiniones de los participantes en el grupo de enfoque respecto a las áreas de oportunidad que presenta el diseño actual.

Metodología

La presente investigación es de tipo cualitativo. Para llevarla a cabo se hizo uso de la metodología Grupo focal, cuyas fases aparecen en la figura 1. La decisión de utilizar esta técnica se debe a que privilegia el habla y es justo el lenguaje oral una fortaleza de las personas con discapacidad visual.

La metodología consta de 3 fases: El diseño de la investigación [9], la interacción con los participantes y el análisis de los resultados [10]

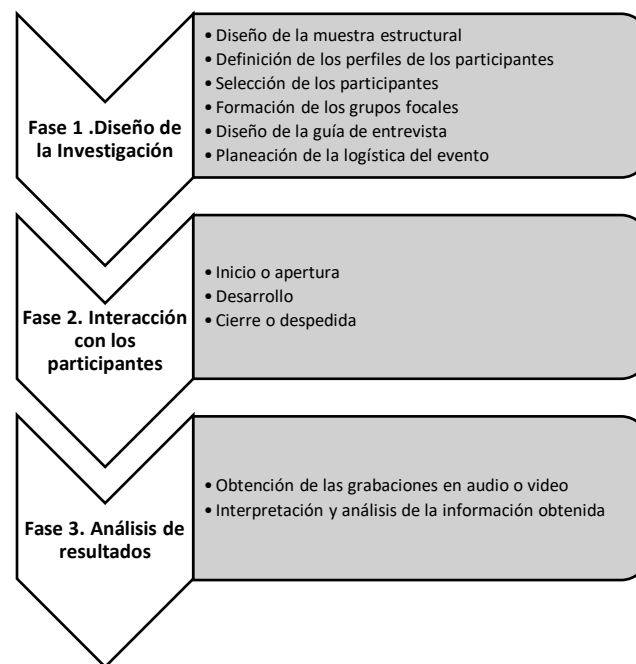


Figura 1. Fases de la metodología utilizada

Fase 1. Diseño de la investigación

Para la selección y organización del grupo focal, fueron considerados los criterios de inclusión y exclusión de los participantes de la investigación. Al contar con una población finita, que son los usuarios con debilidad visual o ceguera del Centro de Rehabilitación Integral de Huachuichinango (CRIH) y de la Unidad de Servicios de Apoyo a la Escuela Regular (USAER), la muestra, es no probabilística, por conveniencia. [11]

Los participantes deben ser personas que tengan relación con el sistema braille, en este caso personas con ceguera o baja visión, adquirida o de nacimiento, cuyas edades estén entre los 6 y los 70 años, que puedan expresarse de manera oral y atender instrucciones y que no tengan discapacidad múltiple. Se seleccionaron 5 adultos de 30 a 58 años y 5 niños de 7 a 12 años, pertenecientes a 2 de las 3 instituciones que ofrecen servicios, conformando 2 grupos de enfoque como se muestra en la figura 2.

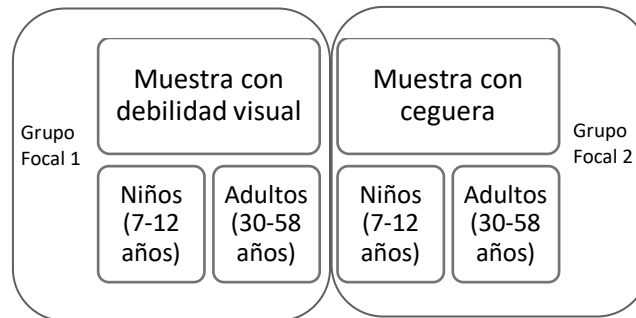


Figura 2. Grupos focales y sus perfiles

El instrumento utilizado es una guía de entrevista, la estructura de esta se muestra en la figura 3, con protocolo de observación o *check list*, para evaluar la aplicación de la técnica grupo focal [12] [13]. La guía de entrevista consta de 32 preguntas divididas en 3 secciones principales de acuerdo con las características de los prototipos mostrados en la figura 4.

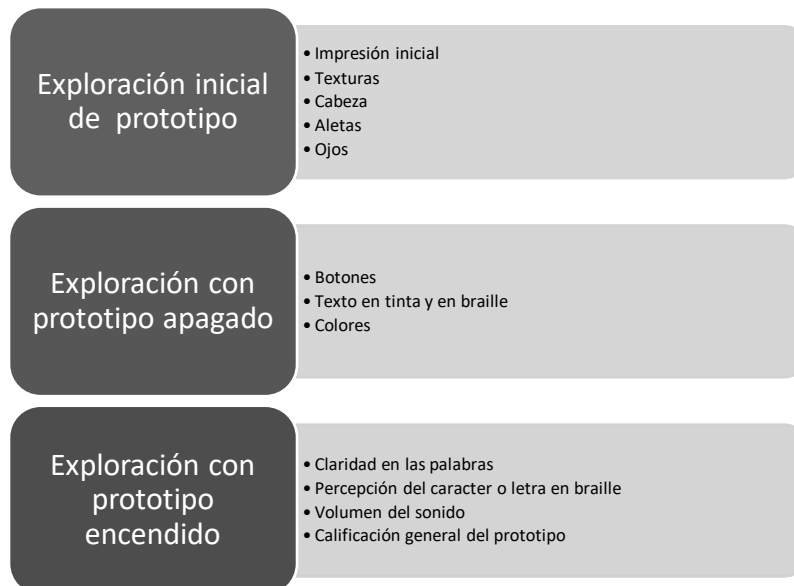


Figura 3. Estructura de la guía de entrevista



Figura 4. Prototipos para validar

Respecto a la logística del evento, se designó un salón amplio en planta baja, acceso sin obstáculos, una mesa posicionada en forma de “C” y la ubicación de los participantes al azar.

Fase 2. Interacción con los participantes

Para llevar a cabo ambos grupos de enfoque se citó a las 9:00 horas del día a los adultos, usuarios o pacientes del CRIH y a las 12:00 horas del mismo día a los niños atendidos por la USAER.

Se apoyó a los invitados en todo momento, verbalizando las características del lugar para que mediante el uso del bastón blanco las pudieran reconocer. [14]

La técnica grupo focal se desarrolló sin inconvenientes, el moderador se guió con el diseño de entrevista previamente elaborado, y se sujetó en todo momento a los tiempos de entrevista establecidos. Durante la apertura se dio la bienvenida a los participantes y se hizo una descripción verbal de la apariencia física de los organizadores y se describió el lugar, la interacción de los participantes con el prototipo se muestra en las figuras 5 y 6.



Figura 5. Usuarios de CRIH en participando en el grupo focal



Figura 6. Participantes de USAER en grupo focal

Para dar la bienvenida al grupo, al tratarse de personas con discapacidad visual se hizo de la siguiente manera:

“Buen día a todos ustedes, mi nombre es Arisbeth, soy una mujer de 20 años, con cabello negro ondulado a la altura de los hombros, visto blusa blanca lisa, pantalón de mezclilla color azul cielo y botas cafés con agujetas, el día de hoy seré la moderadora de la sesión. Estamos en la planta baja del edificio 1 del Instituto Tecnológico de Huachinango, estando frente a ustedes, a mi izquierda está la puerta, a mi derecha una ventana que abarca la mayor parte de la pared, la salida de emergencia es por la puerta de

la izquierda dando vuelta hacia la derecha. Agradecemos infinitamente su visita para participar en este grupo focal, cuyo objetivo es conocer sus opiniones respecto a un prototipo para la enseñanza del braille inicial”.

Resultados y discusión

Fase 3. Análisis de resultados

Primeros resultados.

Los resultados obtenidos fueron agrupados en 3 secciones: Exploración inicial del prototipo, exploración con prototipo apagado y exploración con prototipo encendido (Sistema sonoro), las preguntas se centraron en diversas partes del prototipo que el equipo de trabajo deseaba conocer y por ultimo las respuestas en las que la mayoría de los participantes coincidieron aparecen en la tabla 1

Tabla 1. Principales respuestas de los grupos de enfoque citadas de forma textual

Sección	Preguntas	Respuestas de adultos (CRIH)	Respuestas de niños (USAER)
Exploración inicial del prototipo	Primeras impresiones	Asombroso	Interesante
	Texturas	Se perciben bien	Me parecen bien
	Cabeza	Es muy grande	Me gusta
	Aletas	Un poco cerradas	No caben bien las manos
	Ojos	Me parecen bien	Me gustan
Exploración con prototipo apagado	Botones	Están duros	Me gustan
	Tinta y braille	Se percibe bien Se distingue bien	Relieve bien Tinta bien
	Colores	Están bien	Considero que la tortuga debería tener colores llamativos para que pueda ser atractiva y capte la atención
Exploración con prototipo encendido (Sistema sonoro)	Claridad de las frases	Buena, se escucha bien	No se escuchan bien
	Percepción del caracter o letra en braille	Si son claras	Sí, se distingue bien Si se distingue
	Volumen	Debería ser más alto	No, el volumen es muy bajo
	Calificación general del prototipo	Muy bien	Bien

Después de analizar las respuestas de los participantes, se observó que los niños fueron más exigentes al evaluar el prototipo, pues aparte de evaluar su funcionamiento respecto al braille inicial, también lo juzgaron como juguete, lo cual fue muy interesante y será considerado para la reingeniería del prototipo.

Segundos resultados.

Posteriormente a la realización del grupo focal, una de las participantes, contactó al personal a cargo de la investigación y le hizo la recomendación de cambiar las palabras de ejemplo para cada una de las letras del alfabeto, considerando que hay personas que nunca en su vida han visto, argumentó que sería complicado relacionar la letra del alfabeto con la palabra ejemplificada correspondiente, sobre todo si se trata de personas de escasos recursos que tienen menos posibilidades de acceder a figuras de objetos poco usuales como un avión o un dragón.

Recomienda manejar palabras sencillas con nombres de objetos de uso cotidiano, fácilmente de identificar con el tacto por su tamaño, forma, textura y utilidad para jugar o realizar actividades en el hogar, de esta forma las personas que no conocen más allá de lo que pueden aprender mediante el tacto, se podrían familiarizar fácilmente con las que aparecen en la propuesta de la tabla 2.

Tabla 2. Ejemplos de palabras del alfabeto braille actuales y propuestas por el grupo de enfoque

Ejemplos actuales de alfabeto en el prototipo				Ejemplos resultantes del grupo de enfoque para el prototipo			
a	avión	ñ	ñandú	a	anillo	o	ojo
b	barco	o	océano	b	botón	p	paleta
c	coche	p	pingüino	c	campana	q	queso
d	dragón	q	queso	d	dado	r	reloj
e	elefante	r	robot	e	esfera	s	silbato
f	flor	s	sol	f	foco	t	tijeras
g	guitarra	t	tren	g	goma	u	uña
h	hotel	u	uniforme	h	hilo	v	vela
i	insecto	v	violín	i	imán	x	xilófono
j	joya	w	walkman	j	jabón	y	yoyo
k	koala	x	xilófono	k	kiwi	z	zapato
l	león	y	yoyo	l	lazo		
m	mono	z	zoológico	m	moneda	ñ	No
n	nido			n	nariz	w	incluirlas

El uso de las letras o caracteres ñ y w no es recomendable que se incluya, debido a que se trata de braille inicial, pues al ser el braille un sistema nacido en Francia, los caracteres ñ y w no se incluyen en su alfabeto, por lo tanto, salen de la secuencia lógica de la formación de caracteres mediante el acomodo de los puntos, lo cual puede confundir a los usuarios cuando se empiezan a familiarizar con dicho sistema.

La información obtenida mediante el grupo focal es muy importante para el grupo de trabajo pues se encontraron varios elementos que deben ser considerados para el rediseño del prototipo tales como, el ángulo de colocación de las aletas superiores, buscando que sea funcional para manos de niños más grandes o adultos; el ajuste de la presión para el accionamiento de los botones; cambiar los colores del PLA empleado en la impresión 3D utilizando amarillo y naranja; elevar en el volumen del sonido al emitir el nombre del símbolo caracter braille y cambiar las palabras de ejemplo de cada letra del abecedario por palabras de objetos más comunes y de fácil acceso de forma táctil para los usuarios.

Conclusiones

Después de la aplicación de la técnica grupo de enfoque, para conocer la opinión de personas con discapacidad visual, respecto al prototipo de enseñanza braille, se pueden hacer las siguientes conclusiones:

Respecto a la técnica grupo focal:

- El uso de un lenguaje incluyente por parte de la persona que está al frente de ellos en una reunión, ponencia, clase, etc., es muy importante y se debe promover su uso.
- Los nombres de objetos que puedan caber en nuestra mano son mucho más fáciles de entender para las personas con esta condición.
- Los objetos de uso común y cotidiano son los mejores referentes al momento de buscar ejemplos para ellos.

Respecto al prototipo:

- Es importante que las personas que vemos no tratemos de “adivinar” lo que necesitan las personas con discapacidad visual, ellos tienen un enfoque diferente y pueden ver lo que las personas normo visuales no vemos.
- Se ajustará la presión necesaria para accionar los puntos o botones del prototipo, de manera que requieran aplicar menos fuerza.
- Se cambiarán las palabras ejemplo para cada una de las letras del alfabeto.
- Se eliminarán los ejemplos para la letra ñ y la w.

- Se aumentará el volumen del sonido que emite el prototipo.
- Se cambiarán los colores del PLA empleado en la impresión 3D utilizando amarillo y naranja, colores usados para las personas de baja visión.

Trabajo a futuro

Se recomienda ampliamente el uso de la técnica Grupo Focal para recabar información de personas con discapacidad visual. Las instituciones de atención a éste y otros grupos vulnerables tienen diversas necesidades, que pueden ser cubiertas mediante el desarrollo de proyectos de ingeniería multidisciplinaria, por lo que se buscará mantener una relación estrecha y una vinculación formal con este tipo de instituciones.

Por último, se hará la solicitud de registro como modelo de utilidad ante el IMPI (Instituto Mexicano de Protección Industrial) para el prototipo corregido.

Agradecimientos

Al Centro de Rehabilitación Integral Huauchinango (CRIH) por su participación.

A la Unidad de Servicios de Atención a la Escuela Regular (USAER) por su participación.

Y al TECNМ campus Huauchinango por todo su apoyo en el financiamiento del proyecto y las facilidades brindadas durante el desarrollo del Grupo Focal

Referencias

- [1] Organización Mundial de la Salud (OMS). La OMS presenta el primer informe mundial sobre la visión. [en línea] Disponible en: <https://www.who.int/es/news/item/08-10-2019-who-launches-first-world-report-on-vision> (accedido el 02 sept. 2022)
- [2] INEGI. *Características de las personas con discapacidad visual*. [en línea] Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/2000/discapacidad/visual_i.pdf (Acceso: Ago. 07, 2022)
- [3] Martínez-Liévana, I., & P. Chacón, D. *Guía didáctica para la lectoescritura braille*. Madrid: Organización Nacional de Ciegos Españoles pp 12-32, 50, 2004.
- [4] Educación Inclusiva. Personas con discapacidad visual, Módulo 5 el sistema braille. [en línea] Disponible en: http://www.riate.org/version/v1/materiales_en_prueba/e_inclusiva_discapacidad/unidad_5/m5_metodo_ensenanza.htm (accedido el 01 sept. 2022)
- [5] Revista CIM 2020 Coloquio de Investigación Multidisciplinaria. Vol 8 No 1 octubre 2020 pp 1111- 1117
- [6] E. Gastón Lopez Integración: *Revista digital sobre discapacidad visual* · · N.º 71 - Diciembre 2017 · ISSN 1887-3383 pp 166-168, 2017.
- [7] ONU, *Objetivos de desarrollo sostenible 2015* [en línea] Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/> (Acceso: Ago. 07, 2022)

- [8] N. Martínez Reyes. "Reseña metodológica sobre los grupos focales" pp 49-51, 2015.
- [9] M.A Prieto Rodríguez & J.C. March Cerda. Paso a paso en el diseño de un estudio mediante grupos. Atención Primaria 2002. 15 de abril. 29 (6): 366-373 [en línea] Disponible en : <https://www.elsevier.es/es-revista-atencion-primaria-27-articulo-paso-paso-el-diseno-un-13029750#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20son%20los%20grupos%20focales,como%20m%C3%A9todo%20para%20generar%20informaci%C3%B3n> (Acceso: Ago. 07, 2022)
- [10] A.Hamui Sutton & M.Varela Ruiz Margarita. La técnica de grupos focales. Investigación educ. médica, Ciudad de México , v. 2, n. 5, p. 55-60, marzo 2013 . Disponible en <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-50572013000100009&lng=es&nrm=iso>. accedido en 04 sept. 2022.
- [11] I.E. Salvadó. *Tipos de muestreo*. 2016, [en línea] Disponible en: [file:///C:/Users/DELL%202018/Zotero/storage/Z5DBMG5K/SALVADÓ%20-%20TIPOS%20DE%20MUESTREO..pdf], 22, 66. (Acceso: Ago. 07, 2022)
- [12] B. P. Acuña, *La observación como herramienta científica*. ACCI (Asociación Cultural y Científica Iberoamericana).pp (12-15), 2015.
- [13] F. I. Bonilla-Jimenez, & J. Escobar. *Grupos focales: una guía conceptual y metodológica*. CUADERNOS HISPANOAMERICANOS DE PSICOLOGÍA, Vol. 9 No. 1, 51-67 pp (54-57), 2017.
- [14] M.A. Pérez Rodríguez *Autonomía Personal de la persona ciega, en Edificios de Uso Público*. Sistema de Orientación Espacial para ciegos, basado en Triconografía pp 15-17, 2014.
- [15] CONACYT. (2015). *Etapas de maduración tecnológica, según metodología "Technology Readiness Level" de la NASA*. FIT, CONACYT, Secretaría de Economía. <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/393/NOTAS.pdf>
- [16] Gobierno de México, *Ley general para la inclusión de personas con discapacidad* 2022. [en línea] Disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGIPD.pdf> (Acceso: Ago. 07, 2022)
- [17] Naciones Unidas (2006). *Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad* [formato pdf]. Nueva York: Naciones Unidas.

Sistema de control de existencias: diseño e implementación para reducir pérdidas en comercializadora de EPP

L. A. Bahena Medina^{1*}, N. Pérez España¹, S. M. Gaona Jiménez¹, M. A. Gómez Vicario¹, D. K. López Meneses¹,

¹Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica del Estado de Morelos, Boulevard Cuauhnáhuac #566, Col. Lomas del Texcal, CP 62550, Jiutepec, Morelos, México

[*lbahena@upemor.edu.mx](mailto:lbahena@upemor.edu.mx)

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

El presente proyecto se desarrolló en una Pequeña y Mediana Empresa (PyME) que presentaba problemas con el control de las existencias en almacén, generando pérdidas semanales en promedio de \$11,000. Por tal motivo, el objetivo fue el diseño e implementación de un sistema de control que permitiera reducir las pérdidas en ventas. Para el diseño del sistema fue necesario realizar una clasificación ABC que permitió identificar los artículos de mayor impacto económico. Así mismo, se realizó el cálculo de la demanda, existencias disponibles al momento, pedidos en tránsito y tiempos de entrega de proveedores.

Palabras clave: Inventarios, Gestión de existencias, Método ABC, pronósticos, tiempos de entrega.

Abstract

This project was developed in a Small and Medium Enterprise (SME) that had problems with the control of warehouse stocks, generating average weekly losses of \$11,000. For this reason, the objective was the design and implementation of a control system that would reduce sales losses. For the design of the system, it was necessary to carry out an ABC classification that allowed identifying the articles with the greatest economic impact. Likewise, the calculation of the demand, stocks available at the moment, orders in transit and supplier delivery times were carried out.

Key words: Inventories, Stock management, ABC method, forecasts, delivery times.

Introducción

Este proyecto consistió en la implementación de un Sistema de Control de Existencias (SCE) en inventario con el objetivo general de reducir la pérdida de ventas en una microempresa dedicada a la distribución y comercialización de Equipos de Protección Personal (EPP), extinguidores y señalizaciones de tránsito. Los objetivos específicos de este trabajo fueron realizar un diagnóstico del control de existencias de inventario, identificar los productos de mayor demanda, diseñar una propuesta tecnológica enfocada a resolver el problema identificado, implementar la solución y estimar el impacto económico en términos de reducción por ventas perdidas. El sistema de información permitió al personal de la empresa visualizar en tiempo real la disponibilidad de cada producto y tomar decisiones del punto de reorden. Se utilizó una clasificación de valor/costo a través de la metodología ABC. Algunos de los beneficios observados en este trabajo fueron la reducción de pérdidas en ventas por falta de existencias, mejora en la rotación de artículos con fecha de vencimiento. En la revisión de la literatura se destaca la importancia del control de existencias en inventario para la adecuada operación y permanencia de las empresas.

Marco teórico

El nivel de inventario es el factor más importante entre aquellos que afectan el desempeño de la cadena de suministro, ya que impacta directamente en la disponibilidad de órdenes, su entrega y por lo tanto la satisfacción del cliente [1]. En una microempresa de Tlaxcala dedicada a la comercialización de materiales de construcción, se identificó que la causa de las pérdidas en ventas fue el inadecuado manejo del inventario. Como estrategia utilizaron el análisis ABC. Los resultados fueron una reducción de pérdida en ventas que pasó de 23% a 13% y el sobreinventario promedio bajó de 48% a 9% durante 2018 y 2019 [2]. En una empresa metal-mecánica en Nuevo León se cuantificó un nivel de pérdidas en ventas de 30% en 2019. Se identificaron las causas del problema, resultando la falta de existencias (42%) y falta de capacidad instalada (25%), entre otras. La incorporación de inventarios de seguridad permitió subir el nivel de disponibilidad de existencias e incrementar las ventas en 62% [3]. Una investigación presentada sobre una microempresa restaurantera mexicana reportó una reducción en pérdida de ventas de 35.49%, gracias a la mejora en el abastecimiento de los insumos requeridos. Adicionalmente, el tiempo de servicio pasó de 14.5 minutos a menos de 10 minutos (31.03%) [4]. Mientras que Macías (2018) en un estudio cuyo objetivo fue analizar y evaluar los criterios de la segmentación ABC para administrar artículos en el almacén, reportó una reducción en las pérdidas en ventas de 19% [5].

En la práctica, las bases de datos de control de existencias forman parte de una aplicación informática denominada Sistema de Planificación de Recursos Empresariales (ERP, por sus siglas en inglés). Pequeñas y medianas empresas tienen algunas debilidades para automatizar su negocio, entre ellas, insuficientes recursos financieros para apoyar el uso de la tecnología [6]. El software de hoja de cálculo se hizo popular en la década de 1980, sin embargo, sigue vigente, particularmente en microempresas. Si bien permite realizar análisis comerciales complejos, uno de los riesgos de su uso es que los procesos de negocio pueden volverse inidentificables [7]. La implementación de software de control de existencias debe ser visualizado dentro de un proceso integral de negocio, en su planeación, implementación y ejecución. Kiran y Reddy (2019) sugirieron algunos factores críticos para el éxito en la implementación de un ERP en PyMEs [8].

Metodología

El presente es un estudio de caso mediante un análisis descriptivo que buscó atender de forma inmediata el problema de pérdidas en ventas en una PyME dedicada a la comercialización de EPP. Para identificar las posibles causas por las que frecuentemente se negaba material al realizar una venta, se realizó una lluvia de ideas con el encargado de almacén, el responsable de compras, personal de ventas (menudeo y mayoreo), y el dueño. Para esquematizar y clasificar las causas se realizó un diagrama de causa y efecto (Figura 1).

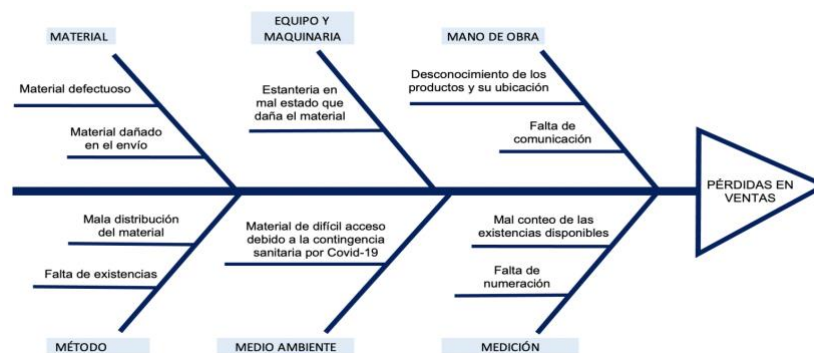


Figura 1. Diagrama de Ishikawa para las pérdidas en ventas

Así mismo, se llevó a cabo un registro (Tabla 1) del material negado a los clientes, especificando los motivos o causas encontradas. Lo anterior se registró diariamente durante cinco semanas, comprendidas del 21 de septiembre al 23 de octubre del 2020, a continuación, se presenta la información recabada en la semana 2 (28 septiembre – 3 de octubre).

Tabla 1. Registro del material negado durante la semana del 28 de septiembre al 03 de octubre 2020

Cantidad	Categoría	Día	Descripción	Precio unit.	Precio Total	Motivo
2	Guantes	28/09	Caja de guante t. cirujano	\$ 250	\$ 500	M. difícil acceso o causas especiales
3	Calzado de seguridad	29/09	Bota mod. Rdx	\$ 870	\$ 2,610	Falta de numeración
6	Protección respiratoria	29/09	Filtro 6003	\$ 600	\$ 3,600	Mala distribución del material
3	Cascos	30/09	Casco a la ancha	\$ 870	\$ 2,610	Falta de existencias
2	Guantes	30/09	Guante anticorte	\$ 300	\$ 600	Falta de numeración
10	Guantes	01/10	Guante de nitrilo	\$ 40	\$ 400	Falta de existencias
30	Lentes	02/10	Lente expo mica clara	\$ 42	\$ 1,260	Falta de existencias
1	Calzado de seguridad	02/10	Bota mod. 3011	\$ 1,150	\$ 1,150	Falta de numeración
1	Calzado de seguridad	03/10	Bota mod. 3017	\$ 1,050	\$ 1,050	Falta de numeración
58					\$ 13,780	

A partir de la información obtenida se identificaron cuatro causas principales que se presentaban de manera frecuente o tenían un impacto monetario mayor. En la tabla 2 se observa de manera detallada las causas más frecuentes las cuales fueron identificadas a partir de la realización de la lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa y registro de datos; posteriormente, para identificar la causa raíz, se aplicó la herramienta 5W – 2H.

Tabla 2. Análisis de las principales causas de las pérdidas en ventas

Causas	Causa raíz
1. Mala distribución del material	Al no haber orden en el almacén, algunos productos se negaban por falta de existencias, sin embargo, sí se contaba con la suficiente cantidad para abastecer el pedido del cliente.
2. Falta de existencias	No existe un proceso adecuado para reabastecer las existencias. Cuando el producto se termina, pocas veces se notifica, por lo tanto, éste se niega por falta de existencias. También se negaron productos porque no se consideraron los tiempos de entrega del proveedor.
3. Material de difícil acceso o causas especiales	Debido a la contingencia sanitaria por Covid-19, muchos productos como respiradores y equipos médicos se negaron debido a su escasez y altos precios en el mercado.
4. Falta de numeración	En algunos productos como el calzado de seguridad y uniformes no se tiene establecido un estándar de las tallas con más demanda, por lo tanto, en ocasiones los productos se negaban por falta de numeración.

Para identificar la causa de mayor impacto para la empresa se clasificaron por cantidad y valor económico (figura 2); dando un total durante las cinco semanas de 208 pérdidas (\$ 57,290.00). De acuerdo con lo anterior, el motivo más frecuente por el que se generó un número mayor de pérdidas fue la falta de existencias, sin embargo, la causa que más pérdidas monetarias generó fue la falta de numeración.

Analizando las causas existentes es posible observar que tres de ellas obedecen a la falta de control. Con base en esto último, se determinó la necesidad de contar con un sistema de control de existencias por lo que fue fundamental conocer el inventario para identificar los productos que mayores ingresos generan y así minimizar pérdidas. En este sentido el primer paso fue realizar una clasificación de productos mediante el método ABC (tablas 3, 4 y 5). Con ayuda de la empresa se establecieron los siguientes parámetros para su clasificación:

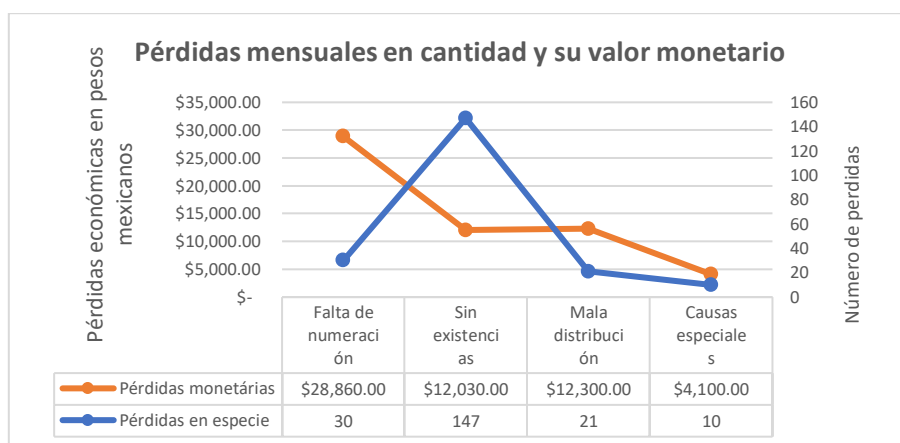


Figura 2 Pérdidas en cantidad y su valor monetario.

Clasificación "A": Artículos con valor monetario mayor a \$3,000.00 pesos.

Clasificación "B": Aquellos productos que generan más de \$1,500.00 pero menos de \$3,000.00 pesos.

Clasificación "C": El resto de los artículos que su valor monetario no rebasa los \$1,500.00 pesos.

Tabla 3. Clasificación de los productos "A"

Categoría	Descripción	Valor monetario (prom.)	%	Clasificación
Calzado de seguridad	VANVIEN BLUA NEGRO #27	\$ 4,420.00	7%	A
Calzado de seguridad	VANVIEN INTREPID #27	\$ 3,968.89	6%	A
Calzado de seguridad	VANVIEN BLUA NEGRO #26	\$ 3,726.67	6%	A
Calzado de seguridad	VANVIEN INTREPID #26	\$ 3,040.00	5%	A

Tabla 4. Clasificación de los productos "B"

Categoría	Descripción	Valor monetario (prom.)	%	Clasificación
Calzado de seguridad	VANVIEN BLUA NEGRO #25	\$ 2,946.67	5%	B
Calzado de seguridad	VANVIEN BLUA NEGRO #28	\$ 2,600.00	4%	B
Calzado de seguridad	VANVIEN BLUA NEGRO #24	\$ 2,166.67	3%	B
Calzado de seguridad	DARMI D8214 CAFÉ #27	\$ 1,955.56	3%	B
Calzado de seguridad	VANVIEN INTREPID #28	\$ 1,773.33	3%	B

Tabla 5. Clasificación de los productos "C"

Categoría	Descripción	Valor monetario (prom.)	%	Clasificación
Calzado de seguridad	DARMI D500 NEGRO #28	\$ 930.00	1%	C
Calzado de seguridad	RIVERLINE ELN CAFE #26	\$ 871.11	1%	C
Calzado de seguridad	VANVIEN INTREPID #25	\$ 844.44	1%	C
Calzado de seguridad	VANVIEN EURO NEGRO #26	\$ 844.44	1%	C
Calzado de seguridad	DARMI D500 NEGRO #26	\$ 792.22	1%	C

Una vez identificados los artículos de acuerdo a su valor monetario (A, B y C) para atender las dos causas detectadas en el periodo de observación de las cinco semanas, se determinó (con respecto al calzado) qué numeración presentó mayor demanda y qué categorías tuvieron un mayor déficit de existencias. Para el primero, se optó por realizar un diagrama de Pareto para determinar si la numeración que más existencias reportó al almacén era la indicada con base a su demanda; ya que, por lo general, la cantidad de existencias se estimó de acuerdo con la experiencia de los dueños. Se tomaron datos de las ventas, cotizaciones y órdenes de compras de los meses de septiembre y octubre en donde se especificó la numeración que los clientes solicitaban. En la tabla 6 se pueden observar las numeraciones del calzado de seguridad, su frecuencia de solicitud y su porcentaje respectivo.

Por otra parte, en la figura 3 se observa el diagrama de Pareto, el cual indica que la numeración más solicitada y vendida es el No. 27, seguido del No. 28 y No. 26.

Tabla 6. Numeración del calzado de seguridad

NUMERACIÓN DEL CALZADO DE SEGURIDAD							
Numeración	Frecuencia	%	% Acumulado	Numeración	Frecuencia	%	% Acumulado
No. 27	49	24%	24%	No. 23	16	8%	88%
No. 28	37	18%	42%	No. 29	11	5%	93%
No. 26	36	17%	59%	No. 30	7	3%	96%
No. 25	24	12%	71%	No. 22	6	3%	99%
No. 24	18	9%	80%	No. 31	2	1%	100%
TOTAL				206			

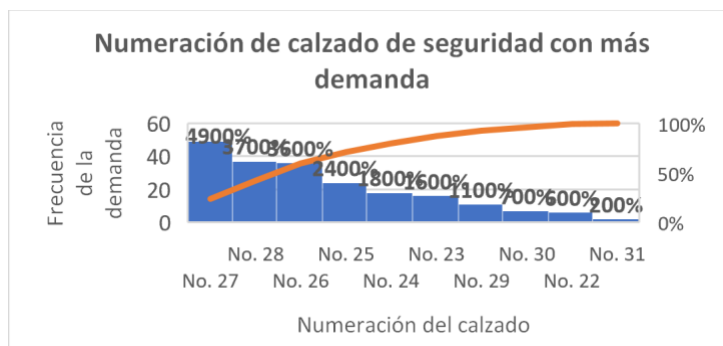


Figura 3 Diagrama de Pareto de la numeración del calzado de seguridad con más demanda.

De igual forma, la segunda causa que generó pérdidas en ventas fue la falta de existencias, siendo los artículos de 'protección en alturas', 'uniforme' y 'protección para cabeza' los que más impacto tuvieron (Tabla 7 y Figura 4).

Tabla 7. Categorías que generaban pérdidas por falta de existencias.

Cantidad	Categoría	Día	Descripción	Precio Unit	Precio Total	Motivo
12	Protección para manos	26/09	Guante nitrilo Solvex	\$ 40	\$ 480	Sin existencias
3	Protección p/cabeza	30/09	Casco MSA	\$ 870	\$ 2,610	Sin existencias
10	Protección para manos	01/10	Guante nitrilo Solvex	\$ 40	\$ 400	Sin existencias
30	Protección Visual	02/10	Lente expo mica clara	\$ 42	\$ 1,260	Sin existencias
3	Protección en alturas	05/10	Arnés Golden	\$ 870	\$ 2,610	Sin existencias
1	Uniforme	06/10	Chaleco MF	\$ 280	\$ 280	Sin existencias
50	Equipo de vialidad	14/10	Capuchones	\$ 14	\$ 700	Sin existencias
4	Uniforme	17/10	Chaleco Brigadista	\$ 190	\$ 760	Sin existencias
25	Equipo de vialidad	10/10	Capuchones	\$ 14	\$ 350	Sin existencias
2	Uniforme	21/10	Chaleco MF	\$ 280	\$ 560	Sin existencias
6	Uniforme	22/10	Chaleco Brigadista	\$ 190	\$ 1,140	Sin existencias
1	Protección de alturas	22/10	Arnés 3M	\$ 880	\$ 880	Sin existencias

Una vez identificado todo lo anterior se determinó el diseño del sistema de control que mejor se ajusta a las características de la empresa. Para esto, es importante conocer algunos factores como la demanda de los productos, las existencias disponibles en el momento, los pedidos en tránsito y las fechas de entrega del proveedor. El procedimiento para determinar la demanda consistió en promediar las ventas por día de cada artículo. En la figura 5 se muestra el cálculo de la demanda de la semana del 09 al 14 de noviembre. Además, se agregó una columna de desviación estándar, para conocer la tolerancia; es decir, que la demanda pronosticada

del 'adaptador para protector facial con mica' es de 5 unidades por día con una desviación estándar de ± 2 unidades.

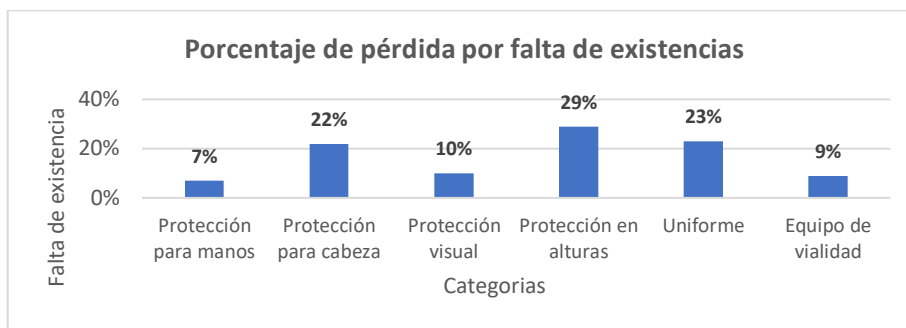


Figura 4. Porcentaje de las categorías que generaron pérdidas por falta de existencias.

PRONÓSTICO DE LA DEMANDA

CLAVE	DESCRIPCIÓN	09/11/	10/11/	11/11/	12/11/	13/11/	14/11/	PROM.	DESV. 4
SP1016	ADAPTADOR PARA PROTECTOR FACIAL CON MICA	8	3	6	5	3	7	5.33	2.0
SP1017	ADAPTADOR PARA PROTECTOR FACIAL SIN MICA	3	0	2	2	1	2	1.67	1.0
PC100K	ARNES PC100K DE 1 ARGOLLA	2	2	1	0	1	0	1.00	0.8
PC100KP2	ARNES PC100K-P2 DE 3 ARGOLLAS	2	0	0	5	0	0	1.17	2.0
WS10	ARNES WARTHOG DE 1 ARGOLLA	4	0	0	2	0	0	1.00	1.6
BANMALLA	BANDEROLA DE MALLA	0	2	3	0	1	2	1.33	1.2
BBM	BANDEROLA DE TELA	0	0	0	4	4	0	1.33	2.0
BARMSA	BARBIQUEJO DE 4 PUNTOS MSA	3	0	0	5	0	0	1.33	2.1
BAR1	BARBIQUEJO SENCILLO AM	12	8	10	15	17	30	15.33	7.8
BAR2	BARBIQUEJO SENCILLO VALLEN	0	3	3	3	0	11	3.33	4.0
0154B-6	BOTA BERRENDO MOD. 154 #26	1	0	0	0	0	0	0.17	0.4
0154B-7	BOTA BERRENDO MOD. 154 #27	1	0	0	0	2	0	0.50	0.8

Figura 5. Pronóstico de la demanda del 09 al 14 de noviembre.

Normalmente los tiempos de entrega de los proveedores se obtuvieron mediante cotizaciones o catálogos proporcionados; sin embargo, para conocer el tiempo de entrega real, se elaboró un documento llamado 'Control de Pedidos' en las hojas de cálculo, en el cual se registraron los pedidos, la fecha de solicitud, el estatus del envío y su fecha de llegada. Con base en este documento se elaboró una lista de proveedores y sus tiempos de entrega, como se muestra en la tabla 8. Una vez que se obtuvieron los datos que componen la base del método determinista (demanda y tiempo de entrega) se prosiguió a elaborar el sistema de control de existencias en Excel. Fue necesario el uso de macros para registrar de forma sistemática la información de los productos, así como de las entradas y las salidas, también se hizo uso de funciones especializadas para buscar, sumar y multiplicar valores de acuerdo con ciertos criterios.

Tabla 8. Lista de proveedores y sus tiempos de entrega.

Proveedores	Tiempo de entrega (Días)	Proveedores	Tiempo de entrega (Días)
Calzado Chavita	8	Kaizen	2
Calzado Duramil	6	MRS proveedora	6
Calzado Vanvien	5	MSD	3
Comercializadora MC	6	Nemorio Lara	6
Darmi	8	Plásticos del Golfo	5
El gran Tlapalero	5	Providencia	4
Espomega	3	Rayhsa	15
FRYEP	20	Riverland	9
GCJF	7	Silletas	5
Golden Eagle	4	Truper	8
Guantes industriales Aril	5	Unitam	5
Infra	8	Vallen	4
Jyrsa	4	Yazbeck	2

Inicialmente se formuló la hoja de 'PRODUCTOS', la cual sirve como base de datos puesto que viene la información principal del producto, como su clave, descripción, categoría, precio de compra, precio de venta, proveedor y tiempo de entrega (Figura 6).

CLAVE	DESCRIPCIÓN	CATEGORÍA	PRECIO DE COMPRA	PRECIO DE VENTA	PROVEEDOR	TIEMPO DE ENTREGA
D500-2	DARMI D500 NEGRO #22	Calzado de seguridad	\$ 230.00	\$ 310.00	DARMI	2
D500-3	DARMI D500 NEGRO #23	Calzado de seguridad	\$ 230.00	\$ 310.00	DARMI	2
D500-4	DARMI D500 NEGRO #24	Calzado de seguridad	\$ 230.00	\$ 310.00	DARMI	2
D500-5	DARMI D500 NEGRO #25	Calzado de seguridad	\$ 230.00	\$ 310.00	DARMI	2
D500-6	DARMI D500 NEGRO #26	Calzado de seguridad	\$ 230.00	\$ 310.00	DARMI	2
D500-7	DARMI D500 NEGRO #27	Calzado de seguridad	\$ 230.00	\$ 310.00	DARMI	2
D500-8	DARMI D500 NEGRO #28	Calzado de seguridad	\$ 230.00	\$ 310.00	DARMI	2
D500-9	DARMI D500 NEGRO #29	Calzado de seguridad	\$ 230.00	\$ 310.00	DARMI	2
D500-10	DARMI D500 NEGRO #30	Calzado de seguridad	\$ 230.00	\$ 310.00	DARMI	2
D8214-2	DARMI D8214 CAFÉ #22	Calzado de seguridad	\$ 378.92	\$ 550.00	DARMI	2
D8214-3	DARMI D8214 CAFÉ #23	Calzado de seguridad	\$ 378.92	\$ 550.00	DARMI	2

Figura 6. Hoja 'PRODUCTOS' del sistema de control de existencias.

Después, se crearon las hojas 'ENTRADAS' y 'SALIDAS' las cuales permiten al usuario seleccionar mediante una lista desplegable el producto y registrar las unidades compradas o vendidas. De igual forma, se elaboró la hoja 'Reporte de movimientos' la cual permite visualizar el total de entradas y salidas reportadas. Además, se agregó una columna donde se registraron las unidades disponibles inicialmente. A partir de estas columnas, fue posible calcular las existencias de cada uno de los productos. Por otro lado, la hoja 'Demanda' contiene el pronóstico de la demanda de cada uno de los artículos. Finalmente, la hoja 'CONTROL DE EXISTENCIAS' muestra el resumen de los cálculos realizados en las hojas anteriores. Como se observa en la figura 7, esta sección consiste en una tabla que muestra la utilidad, el tiempo de entrega, la demanda, el punto de reorden y las existencias disponibles de cada producto.

CLAVE	DESCRIPCIÓN	CATEGORÍA	UTILIDAD	TIEMPO DE ENTREGA	DEMANDA	JUNTO DE PED	EXISTENCIAS
D500-2	DARMI D500 NEGRO #22	Calzado de seguridad	\$ 80.00	2	0.20	0	4
D500-3	DARMI D500 NEGRO #23	Calzado de seguridad	\$ 80.00	2	0.60	1	12
D500-4	DARMI D500 NEGRO #24	Calzado de seguridad	\$ 80.00	2	1.00	2	16
D500-5	DARMI D500 NEGRO #25	Calzado de seguridad	\$ 80.00	2	1.20	2	13
D500-6	DARMI D500 NEGRO #26	Calzado de seguridad	\$ 80.00	2	2.40	5	22
D500-7	DARMI D500 NEGRO #27	Calzado de seguridad	\$ 80.00	2	4.20	8	18
D500-8	DARMI D500 NEGRO #28	Calzado de seguridad	\$ 80.00	2	3.80	8	24
D500-9	DARMI D500 NEGRO #29	Calzado de seguridad	\$ 80.00	2	0.20	0	13
D500-10	DARMI D500 NEGRO #30	Calzado de seguridad	\$ 80.00	2	0.20	0	4
D8214-2	DARMI D8214 CAFÉ #22	Calzado de seguridad	\$ 171.08	2	0.20	0	1
D8214-3	DARMI D8214 CAFÉ #23	Calzado de seguridad	\$ 171.08	2	0.20	0	7
D8214-4	DARMI D8214 CAFÉ #24	Calzado de seguridad	\$ 171.08	2	1.20	2	13
D8214-5	DARMI D8214 CAFÉ #25	Calzado de seguridad	\$ 171.08	2	1.40	3	11

Figura 7. Hoja 'Control de existencias' del sistema de información

Es importante mencionar que, para facilitar la visualización de las existencias disponibles, se creó un filtro rápido por categoría y se aplicó un formato condicional para la columna de existencias con base al punto de reorden, el cual indica el momento adecuado para realizar un nuevo pedido y abastecer el almacén

Resultados y discusión

Resultados

A partir del diagnóstico se identificó que la causa que generaba la mayor pérdida monetaria se debía a la falta de numeración y que la principal categoría que generaba dichas pérdidas, era el calzado de seguridad (Tabla 6 y Figura 3).

Se logró obtener un sistema de control de existencias utilizando el software de la hoja de cálculo de Excel, el cual le permitió a la empresa visualizar en tiempo real las existencias disponibles de cada producto y determinar el momento adecuado para hacer un nuevo pedido. El sistema se implementó por un periodo de tres semanas en las cuales fue posible observar una reducción de las pérdidas de un 44.8% con respecto a los datos obtenidos en la fase diagnóstica. Inicialmente las pérdidas promedio por semana eran de \$5,800 y se redujeron a \$2,600 (figura 8). Esto tuvo como beneficio satisfacer la demanda del cliente, mejorar los tiempos de entrega y mejorar la rotación de los artículos.

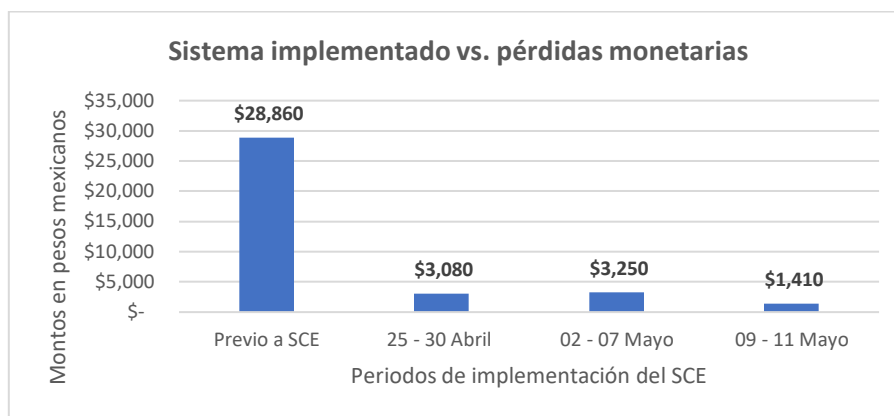


Figura 8. Pérdidas monetarias antes y después del SCE

Con respecto al calzado de seguridad, se detectó durante la implementación del sistema que el 87% de las existencias del calzado se encontraban por arriba del punto de pedido (tabla 9 y figura 9).

Tabla 9. Existencias para el calzado de seguridad, por arriba y por debajo del punto de pedido.

CONTROL DE EXISTENCIAS PARA EL CALZADO DE SEGURIDAD		
Artículos con existencias por arriba del punto de pedido	132	87%
Artículos con existencias por debajo del punto de pedido	8	5%
Artículos sin existencias	12	8%
Total	152	100%

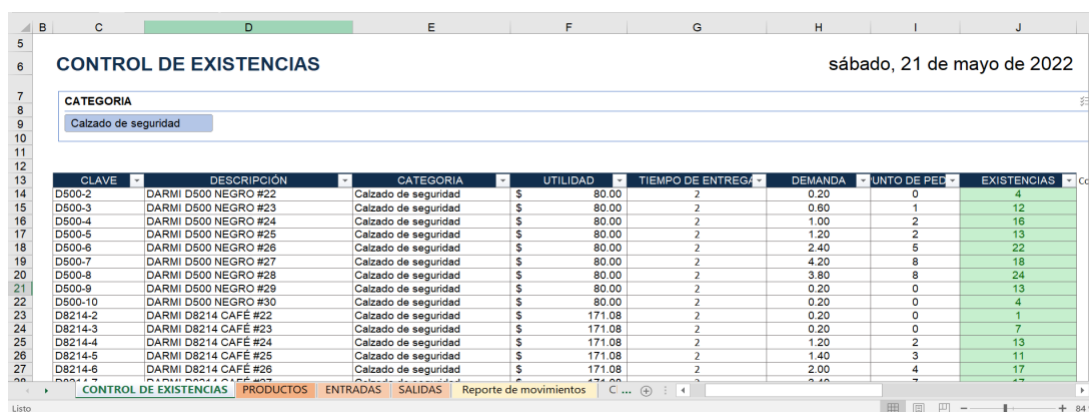


Figura 9. Existencias por arriba del punto del pedido.

En relación a las pérdidas monetarias por falta de existencias (segunda causa en orden monetario), se logró cuantificar e identificar los productos que mayor impacto tenían (equipo de protección en alturas, cabeza y uniformes); sin embargo, no fue factible visualizar el impacto de la implementación del sistema de control dado

que el 94% de estos se encuentran por arriba del punto de reorden. Se requiere cierto tiempo para que se establezcan o igualen las existencias (Tabla 10 y Figura 10).

Tabla 10. Tabla del control de existencias para los artículos pertenecientes a las categorías de protección en alturas, cabeza y uniforme.

CONTROL DE EXISTENCIAS PARA PROTECCIÓN EN ALTURAS, CABEZA Y UNIFORME		
Artículos con existencias por arriba del punto de pedido	201	94%
Artículos con existencias por debajo del punto de pedido	12	6%
Artículos sin existencias		0%
Total	213	100%

CONTROL DE EXISTENCIAS viernes, 20 de noviembre de 2020

CATEGORIA

Calzado de seguridad | Complementos | Desechables y reusables | Equipo contra incendio | Equipo de vitalidad | Herramientas | Protección auditiva
 Protección corporal | Protección para alturas | Protección para cabeza | Protección para manos | Protección respiratoria | Protección visual | Uniforme

CLAVE	DESCRIPCIÓN	CATEGORIA	UTILIDAD	EMPO DE ENTR	DEMANDA	PUNTO DE PEDIDO	EXISTENCIAS
BP1016	ADAPTADOR PARA PROTECTOR FACIAL CCI	Protección para cabeza	\$ 45.00	6	0.33	12	53
BP1017	ADAPTADOR PARA PROTECTOR FACIAL SIN	Protección para cabeza	\$ 25.00	6	1.67	10	27
PC100K	ARNES PC100K DE 1 ARGOLLA	Protección en alturas	\$ 180.00	4	1.00	4	10
PC100K2	ARNES PC100K-P2 DE 2 ARGOLLAS	Protección en alturas	\$ 380.00	4	1.17	5	5
WS10	ARNES WARTHOG DE 1 ARGOLLA	Protección en alturas	\$ 110.00	4	1.00	4	5
WS3018	CABLE DE VIDA WS3018 SIN AMORTIGUADOR	Protección en alturas	\$ 105.00	4	0.33	1	2
WS3018D	CABLE DE VIDA WS3018D CON AMORTIGUADOR	Protección en alturas	\$ 182.00	4	0.33	1	2
CM14-CH	CAMISOLA DE MEZCLILLA 14OZ CH	Uniforme	\$ 45.00	4	0.00	0	9
CM14-G	CAMISOLA DE MEZCLILLA 14OZ G	Uniforme	\$ 45.00	4	0.50	2	7
CM14-M	CAMISOLA DE MEZCLILLA 14OZ M	Uniforme	\$ 45.00	4	0.83	3	15
CM14-XL	CAMISOLA DE MEZCLILLA 14OZ XL	Uniforme	\$ 45.00	4	0.50	2	6
CM08-CH	CAMISOLA DE MEZCLILLA 8OZ CH	Uniforme	\$ 44.00	4	0.00	0	6
CM08-G	CAMISOLA DE MEZCLILLA 8OZ G	Uniforme	\$ 44.00	4	0.00	0	2
CM08-M	CAMISOLA DE MEZCLILLA 8OZ M	Uniforme	\$ 44.00	4	1.33	5	4
CM08-XL	CAMISOLA DE MEZCLILLA 8OZ XL	Uniforme	\$ 44.00	4	0.00	0	3
CGA-CH	CAMISOLA GAB 100% AZUL MARINO CH	Uniforme	\$ 44.00	4	0.83	3	6
CGA-G	CAMISOLA GAB 100% AZUL MARINO G	Uniforme	\$ 44.00	4	0.33	1	19
CGA-M	CAMISOLA GAB 100% AZUL MARINO M	Uniforme	\$ 44.00	4	0.50	2	6
CGA-XL	CAMISOLA GAB 100% AZUL MARINO XL	Uniforme	\$ 44.00	4	0.17	1	1
ICPRO15	CASCO INFRA ALA ANCHA	Protección para cabeza	-\$ 10.00	8	1.83	15	20
ICPRO20	CASCO INFRAPRO SUSPENSIÓN DE MATRAC	Protección para cabeza	-\$ 12.00	8	1.83	15	19
VGARD	CASCO MISA ALA ANCHA SUSPENSIÓN FAST	Protección para cabeza	\$ 80.00	15	2.33	35	13
VGARD2	CASCO MISA CACHUCHA SUSPENSIÓN FAST	Protección para cabeza	\$ 100.00	15	1.33	20	19
ICP200	CASCO MUNDIAL CON SUSPENSIÓN DE INTEL	Protección para cabeza	\$ 20.00	8	7.00	56	74
ICP200M	CASCO MUNDIAL CON SUSPENSIÓN DE MATR	Protección para cabeza	\$ 32.00	8	0.83	7	82

Figura 10. Tabla del control de existencias para los artículos pertenecientes a las categorías de protección en alturas, cabeza y uniforme.

Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con los reportados por los trabajos de Enriquez y Rodríguez [2], los autores reportaron 11% de reducción en pérdidas; Reyes et al. [4] también señalaron una reducción de pérdidas en ventas de 35.49% gracias a una mejora en el abastecimiento de existencias; Macías [5], informó de una reducción de pérdidas en ventas de 19% gracias al establecimiento de criterios de segmentación ABC para administrar artículos en el almacén; González [3], reportó una reducción en las pérdidas en ventas de un conjunto de productos causadas por falta de existencias, de 62%, derivada de la incorporación de inventarios de seguridad; mientras que en el presente trabajo se logró 44.8%.

En concordancia con Tapia et al. [6], en la microempresa de este trabajo, se optó por una aplicación informática de diseño propio y de bajo costo que actualmente es funcional. Ciertamente es pertinente considerar en trabajos futuros lo que señalan Shih y Nevárez [7] sobre el riesgo de inidentificabilidad de los procesos de negocio. En este caso de estudio se eligió una aplicación tecnológica personalizada, coincidiendo con Kiran y Reddy [8] en la conveniencia de reducir lo más posible cambios de adaptación, cuidando la compatibilidad entre los procesos de negocio y el software; sugirieron otros factores críticos para el éxito en la implementación de un ERP en PyMES entre los que citaron aspectos organizacionales como la cultura, entrenamiento y asignación específica de presupuesto para este objetivo. También mencionaron como elementos cruciales para el éxito el liderazgo de la Alta Dirección, eficiencia en la administración del cambio y comunicación efectiva.

Trabajo a futuro

Como líneas de investigación futura se sugiere analizar el índice de rotación de inventario que es un indicador financiero correlacionado con la utilidad neta de un negocio. En otro orden, la aplicación tecnológica puede sistematizarse o escalarse a un software especializado y de costo accesible para la

empresa de estudio. Respecto a aspectos metodológicos, generalmente este tipo de fenómenos es multivariable, por lo cual resulta conducente incluir otras variables y parámetros involucrados en este tipo de problemas.

Conclusiones

La solución propuesta para el problema planteado incidió positivamente en el objetivo establecido, obteniendo una reducción de 44.8% en las pérdidas de ventas por falta de existencias. En coincidencia con los casos referidos de la literatura en este trabajo, el impacto logrado demuestra la pertinencia de la administración de inventarios a través de políticas de prioridad con una clasificación de valor/costo y de inventarios de seguridad para esta problemática. Cabe resaltar que los resultados de este trabajo son coincidentes con los autores citados independientemente del giro y tamaño de la empresa, lo cual significa que la metodología es potencialmente generalizable.

Como resultado de este trabajo se cuenta con una aplicación de software básica pero útil que permite conocer los niveles de inventario en tiempo real, constituyéndose como una base de datos para las decisiones de punto de reorden. Resulta conveniente hacer un análisis costo/beneficio de dicho desarrollo respecto a la tecnología disponible en el mercado para el control de existencias. Derivado de que la implementación de un ERP en una PyME implica cambios en la organización, es necesario considerar un periodo de estabilización en su operación e impacto.

Referencias

- [1] Awgheda, A., M. N. Ab-Rahman, R. Ramli y H. Arshad. "Factors related to supply chain network members in SMEs," *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2016 [En línea]. doi.org/10.1108/JMTM-01-2015-0005 [Accedido: 01-jul-2022]
- [2] Enríquez, L. y Rodríguez, A. "Beneficios de utilizar el Análisis ABC en administración de inventarios en una Pequeña y Mediana Empresa (PyME) comercializadora en Tlaxcala, México," *Ciencia Administrativa*, 2020 [En línea] Disponible en <https://www.uv.mx/iiesca/files/2020/09/02CA2020-01.pdf>. [Accedido: 01-jul-2022]
- [3] González, G. "Disminución de desabasto de materia prima y productos manufacturados mediante herramientas cuantitativas para el control de inventario," 2019 [En línea] <http://eprints.uanl.mx/21986/1/1080315238.pdf>. [Accedido: 01-jul-2022]
- [4] Reyes, Y., Marín, E., Maldonado, J., Villegas, B. y Pérez, J. "Plan de mejora para la optimización de recursos y procesos en microempresas restauranteras," *Pistas Educativas*, vol. 133, 2019 [En línea] https://redib.org/Record/oai_articulo2407456-plan-de-mejora-para-la-optimizaci%C3%B3n-de-recursos-y-procesos-en-microempresas-restauranteras-improvement-plan-optimization-resources-processes-restaurant-microenterprises. [Accedido: 01-jul-2022]
- [5] Macías, J. "Políticas de inventario a partir de una segmentación ABC," 2018 [En línea] <http://eprints.uanl.mx/16255/1/1080290235.pdf>. [Accedido: 01-jul-2022]
- [6] Tapia, D., Vintimilla, P., Alvarez, X., Llivisaca, J., Peña, M., Guamán, R., Siguenza-Guzman, L. y Jadan-Aviles, D. "A Model for Implementing Enterprise Resource Planning Systems in Small and Medium-sized Enterprises," 2021 [En línea] <https://doi.org/10.5220/0010483200950104>. [Accedido: 13-jul-2022]
- [7] Shih, W. y Nevárez, J. "The individualization of ERP in SMES for sustainable development," 2022 [En línea] <http://64.188.2.211/journal/index.php/ijsmes/article/view/1586/1115>. [Accedido: 13-jul-2022]
- [8] Kiran, T. y Reddy, A. "Critical success factors of ERP implementation in SMEs," *Journal of Project Management*, 2019 [En línea] http://www.m.growingscience.com/jpm/Vol4/jpm_2019_17.pdf. [Accedido: 29-ago-2022]

INGENIERÍA QUÍMICA

- IQ01 **Caracterización física, morfológica de los granos y propiedades funcionales del frijol de mata y peruano** IQ-8
Juan Gabriel Torruco-Uco, Monserrat Pedroza-Domínguez, Milagro de Jesús Almonte-Ramírez, Jesús Rodríguez-Miranda and Betsabé Hernández-Santos
- IQ02 **Evaluación de la encapsulación de extractos hidroalcohólicos de semilla de *Moringa oleifera* mediante gelificación iónica** IQ-15
Iván Rivera Abascal, Ivet Gallegos Marín, Erasmo Herman-Lara and Cecilia Eugenia Martínez Sánchez
- IQ03 **Comparación de métodos de extracción y actividad antioxidante de raíz de *Ibervillea sonorae*** IQ-24
Paula Noreyma Balderas-Sánchez, Karla Cano-López, Erasmo Herman-Lara, Ernestina Paz-Gamboa and Cecilia Eugenia Martínez-Sánchez
- IQ04 **Modelo conceptual de una cadena de suministro para elaboración de hidrochar a partir de un residuo orgánico complejo** IQ-31
Nadia Polet Amaro Arcos, Dulce Rocío Mota López, Norma Alejandra Vallejo Cantú, Alejandro Alvarado Lassman and Erik Samuel Rosas Mendoza
- IQ05 **Análisis exergético de una turbina de gas regenerativa con y sin enfriamiento** IQ-40
María Fernanda García López, Eduardo González Peto, Sergio Castro Hernández, Alejandro Torres Aldaco y Raúl Lugo Leyte
- IQ06 **Determinación simultánea de curcumina y 5-fluorouracilo mediante UV-Vis para sistemas de liberación dual de fármacos** IQ-48
Mauricio Antonio Peregrina Loza, Carlos Alberto Ramírez Barragán, Jesús Ángel Andrade Ortega, Héctor Jesús Contreras Quiñones y Sara Gabriela Díaz Ramos
- IQ07 **Obtención de azúcares reductores mediante hidrólisis asistida por ultrasonido de granos gastados de cervecería** IQ-58
Joaquín Estrada-García, Wendy Zárate-Hernández, Juan Manuel Méndez-Contreras and Eduardo Hernández-Aguilar
- IQ08 **Modificación enzimática de la fibra de piña y su aplicación en productos de panificación** IQ-66
Paloma García Muñoz, Andrés Aguirre Cruz, Rubí Guadalupe Utrilla Coello, Mario Valera Zaragoza and Miguel A. García Muñoz
- IQ09 **Comportamiento de nanodispersión y térmico de sistemas ternarios Hule Natural/Arcilla/Dióxido de titanio** IQ-76
Mario Valera-Zaragoza, Asunción Yescas-Yescas and Miguel Ángel García-Muñoz
- IQ10 **Producción combinada de aromas y biocombustibles, una propuesta para el aprovechamiento del lactosuero** IQ-84
Ana Elvia Magdaleno-Cruz, Alejandro Chacón-Izquierdo, Antioco López-Molina and Carolina Conde-Mejía
- IQ 11 **Hongos filamentosos nativos de un yacimiento petrolero con capacidad de sintetizar biotensioactivos** IQ-92
Marcia Eugenia Ojeda Morales, Ana Laura Severo Domínguez, Yuridia Evelin Hernández Cardeño, Sulma Guadalupe Gómez Jiménez y Claudia Ponce Sánchez
- IQ 12 **Propiedades fisicoquímicas y funcionales de harinas compuestas: cáscara de melón/almidón de maíz/aislado proteico de soja** IQ-99
Jesús Rodríguez-Miranda, Andrea Ángeles-Hernández, Alma L. Pérez-Pérez, Juan G. Torruco-Uco and Enrique Ramírez-Figueroa

- IQ 13 **Evaluación de la fermentación anaerobia de los residuos RAC con *Bacillus subtilis* para la obtención de biomásas con aporte nutricional**
Mercedes Romero Jiménez, María Elena García Reyes, Norma Alejandra Vallejo Cantú y Juan Manuel Méndez Contreras IQ-107
- IQ 14 **Proceso de secado convectivo de hojuelas de calabaza (*Cucurbita pepo* L.)**
Alfredo Domínguez Niño, Omar Javier Salinas, Beatriz Castillo Téllez, Octavio García Valladares and Margarita Castillo Téllez IQ-113
- IQ 15 **Aislamiento de fracciones proteicas de hojas de chaya (*Cnidoscolus chayamansa*) asistida por sonicación**
Johan Alfredo Marín Quiroz, María de La Luz Sánchez Mundo, Emmanuel Flores Huicochea, Francisco Javier Gabino Román and Elizabetha Hernández Domínguez IQ-120
- IQ 16 **Obtención de bacterias petrofilicas de vida libre productoras de biotensoactivos provenientes de rizosfera de maíz**
Laura Cristina Martínez Martínez, Marcia Eugenia Ojeda Morales, Miguel Ángel Hernández Rivera, Pío Sifuentes Gallardo y José de Los Santos López Lázaro IQ-128
- IQ 17 **Obtención por microondas del ácido tereftálico (TPA) presentes en botellas de PET**
Gabriel Ríos Cortés, Nancy Espíndola Apale, Araceli Ortiz Celiseo, Ada María Ríos Cortés y Minerva Rosas Morales IQ-137
- IQ 18 **Evaluación de dos diferentes sistemas para la propagación in vitro de plantas de arándanos**
Inocente Aguilar Olmos, Mayra I. Montero Cortés, Arturo Moisés Chávez Rodríguez, Héctor Salgado Ortiz and Joaquín Alejandro Qui Zapata IQ-145
- IQ 19 **Evaluación de la capacidad antioxidante de arroz integral precocido**
Rosalía América González Soto, Claudia Andrea Romero Bastida y Maribel Fernández López IQ-153
- IQ 20 **Mucílago de nopal I: extracción y uso como agente de resistencia en seco en papel**
Jesús Ángel Andrade Ortega, Hugo Alberto Ortega Meza, Héctor Jesús Contreras Quiñones, Carlos Alberto Ramírez Barragán y Antonio Rodríguez Rivas IQ-161
- IQ 21 **Determinación experimental del coeficiente de transferencia de oxígeno (k_LA) en un fermentador batch**
López-Zamora Leticia, Aguilar-Uscanga María Guadalupe, Cerecero-Enríquez Rosalía and Carrera-Varela Sandra IQ-171
- IQ 22 **Evaluación de la política climática local de la zona metropolitana del valle de Puebla**
Alma Griselda Pinillo Flores, Mariana Negrete Cardoso, Marco Antonio Herrera García, Genoveva Rosano Ortega y José Fernando García Villanueva IQ-179
- IQ 23 **Comparativa fisicoquímica entre Kiwi (*Actinidia deliciosa*) producida en Huatusco Veracruz y dos especies comerciales**
Luis Leonardo Morales-Rodríguez, Miriam Cristina Pastelín-Solano, Marina Guevara-Valencia, Odón Castañeda-Castro and Tania Marín-Garza IQ-189
- IQ 24 **Evaluación de un biofertilizante a base de suero lácteo sobre cultivos de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*)**
Cecilia Nayeli García Rodríguez, Elizabeth Quintana Rodríguez, Juan Vázquez, Samuel Vargas Garcidueñas and Domancar Orona-Tamayo IQ-196
- IQ 25 **Cinética de degradación del petróleo crudo en la biorremediación de un suelo tropical**
Yolanda Córdova Bautista, Gabriel Martínez Pereyra, Eduardo Enrique Merodio Morales, Juan Gabriel Álvarez Ramírez and Angélica Silvestre López Rodríguez IQ-203

- IQ 26 **Análisis del proceso de agitación en tanques cerrados como parte de los equipos de proceso** IQ-209
Mayra Agustina Pantoja Castro, Alicia Sosa Medina, Ebelia Del Ángel Meraz, Alida Elizabeth Cruz Pérez y Francisco López Villarreal
- IQ 27 **Potencial de uso de aguas residuales en la producción de biomasa microalgal: evaluación tecno-económica** IQ-217
Leslie Alejandra Jiménez López, Esveidi Montserrat Valdovinos García and Moisés Abraham Petriz Prieto
- IQ 28 **Evaluación de la electrocoagulación como alternativa para el aprovechamiento de aguas residuales de canal en Tultitlán, Estado de México** IQ-224
Dulce Leyva, Monserrat Montes, Sergio Viguera, Sergio Martínez y Juan Yañez
- IQ 29 **Secado convectivo de flor de calabaza (*Cucurbita maxima*)** IQ-232
Ana María Lucho Gómez, Alfredo Domínguez Niño y Octavio García Valladares
- IQ 30 **Utilización de residuos de naranja y limón como fuente potencial de biocombustible sólido** IQ-239
Arlette López-Puga, Juan Manuel Méndez-Contreras, Alejandro Alvarado-Lassman, Norma Alejandra Vallejo-Cantú and Erik Samuel Rosas-Mendoza
- IQ 31 **Efecto de la temperatura en las propiedades de películas delgadas de CdS por baño químico** IQ-248
Carlos Guadalupe Cruz Cruz, Lizeth Rojas Blanco, Tenoch González Sánchez, Rafael Torres Ricárdez and Erik Ramírez Morales
- IQ 32 **Evaluación de la bacteria *Acinetobacter* con capacidad degradadora de hidrocarburos aislada de agua congénita** IQ-260
Cecilia del Carmen Díaz Reyes, Marcia Eugenia Ojeda Morales, Laura Lorena Díaz Flores, Yolanda Córdova Bautista and Irene Fuentes Domínguez
- IQ 33 **Sistema didáctico integral para el análisis del régimen laminar y turbulento de un fluido líquido** IQ-271
Jonathan Esteban Barbosa Contreras, Andrés Martínez Rosales, María de Jesús Oregan Silva, Juan Carlos Vásquez Jiménez y Serafín Reyes García
- IQ 34 **Almacenamiento de carbono en suelos de un bosque urbano de la Ciudad de México** IQ-281
María de La Luz Espinosa-Fuentes, Eric Adrián Tun, Rosa María Cerón-Bretón, Martha Patricia Uc-Chi and Juan Carlos Robles-Heredia
- IQ 35 **Evaluación fisicoquímica y microbiológica de una bebida de jugo de piña-té verde matcha y probiótico** IQ-290
Jazmín Lorenzo González, Ernestina Paz Gamboa, María de Los Ángeles Vivar Vera y Omar Roberto López Vidal
- IQ 36 **Pellets energéticos obtenidos de podas de muérdago *Struthanthus interruptus*** IQ-298
Paulina Alejandra Aguilar Hernández, Elizabeth Quintana Rodríguez, Arturo Guerrero Barranco, Lorena Amaya Delgado y Domancar Orona Tamayo
- IQ 37 **Hidrocarbonización de RC y RSOU como pretratamiento para la generación de biocombustibles mediante digestión anaerobia** IQ-306
Karen Arias Guevara, Norma Alejandra Vallejo Cantú, Alejandro Alvarado Lassman, Erik Samuel Rosas Mendoza and Juan Manuel Méndez Contreras
- IQ 38 **Evaluación del efecto de la adición de micronutrientes en algas *Chlorella spp* y *Spirulina máxima*** IQ-313
Solmaría Mandi Pérez Guzmán, Eduardo Hernández Aguilar, Alejandro Alvarado Lassman and Juan Manuel Méndez Contreras

- IQ 39 **Análisis comparativo de dos modelos Acuapónicos para sustentabilidad de agua y especie endémica en Pátzcuaro, Michoacán** IQ-323
Maricela Villanueva-Pimentel, Alejandro Soto-Castro, Andrés A. Arellano-Torres, Juan Antonio Tello-Ballinas and Ángel Agustín Nambo-Loera
- IQ 40 **Efecto de un sustrato enriquecido con zarzamora sobre la concentración de metabolitos bioactivos en cuerpos fructíferos de *Pleurotus ostreatus*** IQ-330
Sitlalilt Vázquez Ramírez, Oscar Carmona-Hernández, José Armando Lozada-García, Yadeneyro De La Cruz Elizondo and Ana María Aguirre Martínez
- IQ 41 **Detección de fitopatógenos a través de Compuestos Orgánicos Volátiles emitidos por plantas de tomate** IQ-338
Nancy Edith Lozoya Pérez, Juan Vázquez Martínez, Domancar Orona Tamayo y Elizabeth Quintana Rodríguez
- IQ 42 **Niveles atmosféricos de BTEX y riesgo a la salud en Ciudad del Carmen, Campeche** IQ-347
Arely Vichique Morales, Julia Griselda Cerón Breton, Rosa María Cerón Bretón, Reyna del Carmen Lara Severino and Tania del Carmen Morales Rasgado
- IQ 43 **Implementación de Control Difuso para la Optimización del Crecimiento Microalgal en un Fotobiorreactor Airlift** IQ-357
Gustavo Núñez-Álvarez, Elisa García-Cruz, Irving Alcocer-Guillermo, Guadalupe Olmedo-Obrero and Wenceslao Bonilla-Blancas
- IQ 44 **Modelamiento con matlab de la hidráulica de la perforación con revestimiento** IQ-367
Dayner Antonio Bolaina Naranjo, Ebelia Del Ángel Meraz y Mayra Agustina Pantoja Castro
- IQ 45 **Degradación de petróleo crudo usando plantas de *Macuilis (Tabebuia rosea)*** IQ-377
Mario del Jesús Martínez Montero, Juan Barajas Fernández, Isidro Pérez Hernández, Marcia Eugenia Ojeda Morales and Juan Gabriel Álvarez Ramírez
- IQ 46 **Reología no lineal del sistema decilsulfato de anilino (DeSan)/Agua** IQ-384
Carolina Bartola Izquierdo Peregrino, Marcia Eugenia Ojeda Morales, Germán Pérez Hernández, Juan Barajas Fernández y Juan Gabriel Álvarez Ramírez
- IQ 47 **Evaluación del crecimiento y composición química de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada bajo diferentes regímenes alimenticios** IQ-390
Berenice Chareo-Benítez, José Manuel Juárez-Barrientos and Juan Pablo Alcántar-Vázquez
- IQ 48 **Influencia de las condiciones climáticas y agronómicas en la calidad de los frutos de vainilla (*V. planifolia*)** IQ-396
Antony Soto-Enrique, Araceli Pérez-Silva, Paulo Cesar Parada-Molina, Ernestina Paz-Gamboa and Carlos Roberto Cerdán-Cabrera
- IQ 49 **Análisis comparativo de la producción de energía en ciclos Brayton, Rankine y Combinado** IQ-405
Kevin E. Calcanéo, Moisés A. Petriz y Esveidi M. Valdovinos
- IQ 50 **Diseño y simulación de un sistema de diagnóstico de fallas con enfoque GOS en un reactor tipo CSTR** IQ-415
Alexis Marco Antonio Romero Pérez, Miguel Ángel Vaca Hernández, Francisco Vidal Caballero Domínguez, Blanca Estela García Rojas y Francisco Javier Almazán Ruiz
- IQ 51 **Material biodegradable a partir de biopolímeros utilizado en productos cárnicos: Estudio preliminar** IQ-425
Rodolfo Rendón-Villalobos, Carlos Pacual-Teresa and Rodrigo Olvera-Barrera
- IQ 52 **Comparativo de estructuras productivas exergoeconómicas aplicadas a sistemas de refrigeración por compresión de vapor simple** IQ-433
Román Suárez-Aquino, Wenceslao Bonilla, Belem Arce-Vázquez, Raúl Lugo-Leyte and Martín Salazar-Pereyra

- IQ 53 **Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales de la industria azucarera en un sistema híbrido** IQ-443
Carlos Iván Gutiérrez González, Francisco Orduña Gaytán, Andrea Alvarado Vallejo, Alejandro Alvarado Lassman and Norma Alejandra Vallejo Cantú
- IQ 54 **Caracterización fisicoquímica y microbiológica del pópo, una bebida tradicional de la región sureste de México** IQ-454
Zuemy Hernández Nolasco, Marisol Castillo Morales, Mariana Inés Acateca Hernández, Enrique Flores Andrade and María Elizabeth Márquez López
- IQ 55 **Obtención y caracterización morfológica de películas de almidón de sorgo, reforzadas con NCC y NPP** IQ-461
Isidra Guadalupe Ruiz-Martínez, Esmeralda Yamileth Arizmendi-Giles, José Luis Rivera-Corona and Javier Solorza-Feria
- IQ 56 **Caracterización morfológica y reológica de emulsiones aceite de naranja/ β -caroteno en agua estabilizadas con nanofibras de celulosa (NFC)** IQ-468
David Cruz Velasco, Jacqueline Capataz Tafur, Alejandro Aparicio Saguilán, Miguel Ángel García Muñoz and Andrés Aguirre Cruz
- IQ 57 **Efecto del secado convectivo sobre el contenido de compuestos bioactivos de chile jalapeño** IQ-475
Luis Andrés Van Vollenhoven Hernández, Jesús Rodríguez Miranda, Roselis Carmona García, Cecilia Eugenia Martínez Sánchez and Erasmo Herman Y Lara.
- IQ 58 **Análisis fitoquímico de *Justicia spicigera* (Schltdl.) en comunidades totonacas** IQ-482
Denisse Pavón Acosta, José Armando Lozada García, Luis Pacheco Cobos, Juan Vázquez Martínez and Oscar Carmona Hernández
- IQ 59 **Desarrollo de compósitos g-C₃N₄/ZIF-67 para su evaluación fotocatalítica en producción de hidrógeno** IQ-492
Jesús Sebastián Rodríguez Girón, Diana Berenice Hernández Uresti and Daniel Sánchez Martínez
- IQ 60 **Difusividad de humedad efectiva y energía de activación del Taro (*Colocasia esculenta schott*)** IQ-501
Gabriel Martínez Pereyra, José De Los Santos López Lázaro, Manuel Gonzales Solano, Bryan Leonardo Pérez Escobar and Yolanda Córdova Bautista
- IQ 61 **Síntesis química a baja temperatura de nanodiscos hexagonales de ZnO utilizados como detectores de H₂S** IQ-508
Claudio Martínez Pacheco, José Luis Cervantes López, Angélica Silvestre López Rodríguez, Juan Carlos Díaz Guillen and Laura Lorena Diaz Flores
- IQ 62 **Estudio comparativo del perfil microbiológico del queso tipo panela con *Lactobacillus reuteri* libre o encapsulado** IQ-518
Miriam de Lourdes Martínez Morán and Ernestina Paz Gamboa
- IQ 63 **Determinación de los ciclos de reutilización del fotocatalizador ZnO para degradación de Azul de Metileno** IQ-528
Lizeth Rojas Blanco, Jessica Pérez Osorio, Betsie Sara Monserrat Montañó Flores, Marcela del Carmen Arellano Cortaza and Erik Ramírez Morales
- IQ 64 **Mecanismo de reacción cinético reducido para la ignición de sec-butanol** IQ-536
Mario Díaz González, Olaya Pirene and Mario González
- IQ 65 **Aplicación de bacterias ácido-lácticas en una salsa picante** IQ-543
Lidia Ramírez Gómez, Esther Mariela Arzate Escamilla, Adelfo García Ceja María de la Luz Sánchez Mundo, Jesús Garrido Islas

- IQ 66 **EFFECTO DE LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO Y MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE LÍPIDOS APLICADOS EN *Pichia kudriavzevii*** IQ-550
Ivonne Mena Vázquez, Beatriz Gutiérrez Rivera, Luis Alfredo Ortega Clemente, Ana Line Vázquez Larios and Paula Natalia Robledo Narváz
- IQ 67 **Evaluación del compuesto 1,3-dimetilimidazolio ditiocarboxilato como inhibidor de corrosión en un acero 1018** IQ-558
Claudia Cecilia Landero Hernández, María Guadalupe Hernández Cruz, Cecilia Encarnación Gómez, David Salvador García Zaleta and José Manuel Vázquez Rodríguez
- IQ 68 **Influencia de la potencia y tiempo en la preparación de g-C₃N₄: evaluación de propiedades fotocatalíticas** IQ-565
Daniel Sánchez Martínez
- IQ 69 **Sistema anaerobio para el tratamiento de residuos de frutas y hortalizas** IQ-575
Sergio Esteban Viguera Carmona, María Monserrat Montes García, Juan Antonio Yáñez Varela, Angélica Serrano Galindo and Karen Joseline Hernández Carrillo
- IQ 70 **Co-microencapsulación de curcumina-aceite de chía mediante secado por aspersión: caracterización y digestión in vitro** IQ-585
Luz del Carmen Velasco Rodríguez, Viridiana Merlín Martínez, Marina Guevara Valencia, Hugo Sergio García Galindo and Martha Paola Rascón Díaz
- IQ 71 **Efecto de filtrados de *Trichoderma* en la germinación de semillas de café in vitro** IQ-594
María del Sol Osorio-Carrillo, José Miguel López Medina, Mayra Itzcalotzin Montero Cortés, Joaquín Alejandro Qui Zapata and Julio Cesar López Velazques
- IQ 72 **Obtención de biodiesel por transesterificación de lípidos con lipasa *Acrílica cándida antártica B*** IQ-602
Nayeli Gutiérrez-Casiano, Néstor Emmanuel Chávez Méndez, Eduardo Hernández-Aguilar, José Vicente Martínez and Juan Manuel Méndez-Contreras
- IQ 73 **Carbonización hidrotérmica de residuos orgánicos complejos como técnica de obtención de un bioenergético** IQ-610
Zaira Elizabeth Delgado Huerta, Norma Vallejo Cantú, Carlos Velasco Santos, Ana Laura Martínez Hernández and Alejandro Alvarado Lassman
- IQ 74 **Determinación de condiciones de operación del ultrasonido para la extracción de lípidos de *Chlorella vulgaris*** IQ-618
Lorena Rodríguez Ramírez, Paula Natalia Robledo Narváz, Luis Alfredo Ortega Clemente, Ana Line Vázquez Larios and Beatriz Gutiérrez Rivera
- IQ 75 **Nanotubos de carbono a partir de polietilentereftalato: una alternativa de reciclaje post pandemia** IQ-628
Amalia Elizabeth Trujillo Torres, Angélica Silvestre López Rodríguez, Pío Sifuentes Gallardo, Laura Lorena Díaz Flores and Yolanda Córdova Bautista
- IQ 76 **Fotodegradación de ácido salicílico con heteroestructuras de MoS₂ g-C₃N₄ bajo irradiación de luz solar simulada** IQ-637
Diana Berenice Hernández Uresti, Franciso Vicente Flores Báez and Sergio Alberto Obregón Alfaro
- IQ 77 **Efecto del tratamiento de ultrasonido y pH en la extracción de proteínas de *Cnidoscopus chayamansa*** IQ-646
María de La Luz Sánchez Mundo, Vicente Espinoza Solís, Elizabetha Hernández Domínguez, Raquel García Barrientos and Rocío Guadalupe Hernández Nava

- IQ 78 **Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de fibra de papa extranjera (*Oxalis tuberosa*)** IQ-653
Roberto Carlos Ramírez Antonio, Guadalupe Vivar Vera, Jaime Jiménez Guzmán, Francisco Erik González Jiménez and Audry Peredo Lovillo
- IQ 79 **Efecto de rayos UV en recubrimiento híbrido obtenido por sol-gel** IQ-660
Elsa Uicab, Laura Díaz, Nancy Hernandez, Angélica Llopez and Roberto Hernández
- IQ 80 **Análisis de actividad antimicrobiana de iones de cobre sobre frutos y alimentos marinos** IQ-667
Catalina Leticia De La Rosa Juárez, Elizabeth Quintana Rodríguez, Domancar Orona Tamayo, Miroslava Alejandra Silva Goujon and Nancy Edith Lozoya Pérez
- IQ 81 **Estrategia de cuantificación de distribuciones de tamaño de cristal (DTC) en la cristalización de estevia – azúcares levógiros** IQ-675
Eusebio Bolaños Reynoso, Vianey Rosas Calderón, Joanna Bolaños Báez, José Luis Bolaños Reynoso and Leticia López Zamora
- IQ 82 **Caracterización del catalizador de Co/NTC para la descomposición de glicerina en glicoles** IQ-685
Ángel González, Pio Sifuentes, Angélica López, Laura Díaz and Miguel Hernández
- IQ 83 **Efecto del ultrasonido y contenido de sólidos sobre la estabilidad de extractos de col morada** IQ-693
César Antonio Ortiz Sánchez, Martha Paola Rascón Díaz, Enrique Flores Andrade, Marisol Castillo Morales and Enrique Bonilla Zavaleta
- IQ 84 **Concentración y cambio de color del jugo de melón (*Cucumis melo*) utilizando tecnología de ventana refractiva** IQ-702
Enrique Ramírez-Figueroa, Jesús Rodríguez Miranda, Juan Gabriel Torruco Uco and Betsabé Hernández-Santos
- IQ 85 **Efectos del tratamiento térmico en partículas de ZnO en la eficiencia de degradación de colorantes** IQ-712
Betsie Sara Monserrat Montañó Flores, Erik Ramírez Morales, Lizeth Rojas Blanco, Roger Castillo Palomera and Marcela del Carmen Arellano Cortaza
- IQ 86 **Caracterización de las películas elaboradas con almidón de hueso de mango** IQ-719
Claudia Romero-Bastida and Luis Bello-Perez
- IQ 87 **Caracterización de películas comestibles elaboradas con harina de garbanzo y diferentes porcentajes de humedad** IQ-728
Claudia Romero-Bastida, Rosalia Gonzalez-Soto and Monsarat Morales
- IQ 88 **Actividad antimicrobiana sobre *Salmonella typhimurium* con extracto etanólico del fruto de *Sapindus saponaria* L.** IQ-737
Jesús Garrido-Islas, Adelfo García-Ceja, Zitlali Felicitas García-Pazarán, Rafael Germán Campos-Montiel and Betsaida Sulamita García-Sanchez

Caracterización física, morfológica de los granos y propiedades funcionales del frijol de mata y peruano

J. G. Torruco-Uco*, M. Pedroza-Domínguez, M. J. Almonte-Ramírez, J. Rodríguez-Miranda, B. Hernández-Santos

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Calzada Dr. Víctor Bravo Ahúja, No. 561, Col. Predio el Paraíso, Tuxtepec, Oaxaca, C.P. 68350, México. *jtorruco79@outlook.com; juan.tu@tuxtepec.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue evaluar las características físicas y morfológicas de los granos, parámetros de color y propiedades funcionales de las harinas del frijol de mata (FM) y frijol peruano (FP) (*Phaseolus vulgaris*). Las características físicas del FM y FP presentaron una longitud (L) y un peso (P) de 10.56 y 13.26 mm; 0.20 y 0.51 g, respectivamente. La morfología de las semillas mostró un diámetro geométrico (D_g) de 6.55 y 8.65 mm, y una esfericidad (ϕ) de 62.08 y 65.32%. Las harinas presentaron una luminosidad (L^*) de 81.61 y 88.60; las propiedades funcionales de las harinas mostraron diferencia estadística significativa ($p < 0.05$). Los resultados físicos y morfológicos de estas semillas pueden mejorar la cosecha y el procesamiento industrial de estas. Las propiedades funcionales de las harinas del FM y FP podrán ayudar al diseño y desarrollo de nuevos productos alimenticios aceptables para el consumidor.

Palabras clave: propiedades físicas, morfología, color, propiedades funcionales.

Abstract

The objective of the present investigation was to evaluate the physical and morphological characteristics of the grains, color parameters, and functional properties of the mata bean (MB) and Peruvian bean (PB) (*Phaseolus vulgaris*) flours. The physical characteristics of the MB and PB presented a length (L) and a weight (W) of 10.56 and 13.26 mm; 0.20 and 0.51 g, respectively. The seed morphology showed a geometric diameter (D_g) of 6.55 and 8.65 mm, and sphericity (ϕ) of 62.08 and 65.32%. The flours presented a luminosity (L^*) of 81.61 and 88.60; the functional properties of the flours showed a significant statistical difference ($p < 0.05$). These seeds' physical and morphological results of these seeds can improve harvesting and industrial processing. The functional properties of the MB and PB flours may help the design and development of new food products acceptable to the consumer.

Key words: physical properties, morphology, color, functional properties.

Introducción

Los frijoles (*Phaseolus vulgaris* L.), son un alimento básico en muchos países Latinoamericanos, se consumen en gran medida debido a su alto contenido de proteínas, y diversos estudios recientes han señalado que, además de carbohidratos complejos, son una buena fuente de fibras solubles, vitaminas esenciales y minerales, así como compuestos fenólicos [1, 2]. En términos nutricionales, el frijol complementa a los cereales como fuente de proteínas y minerales, así como una opción considerando su bajo costo, ya que, una porción de frijoles secos es rica en vitaminas del complejo B, Hierro, Calcio, Potasio, Fósforo, y es baja en Sodio [2]. Por lo que, en los últimos años, la demanda de proteínas vegetales por parte de los consumidores ha aumentado considerablemente debido a la tendencia de adquirir un estilo de vida más saludable, siendo los productos de proteína vegetal disponibles en el mercado los derivados del trigo, la soja y guisantes [3]. Según la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), las legumbres son semillas secas de plantas de leguminosas anuales pertenecientes a la familia Fabaceae (o familia Leguminosae), que abarca 11 legumbres principales: frijoles secos, habas secas, guisantes secos, garbanzos, caupí seco, gandules, lentejas, habas Bambara, vezas, altramuces y/o legumbres menores [4]. El consumo de frijol en nuestro país depende de la ubicación geográfica y de la variedad de frijol, de tal manera que; en la zona norte se consumen las variedades claras y azufradas, que se cultivan principalmente

en los estados de Sinaloa y Durango; mientras que una gran parte de frijol negro y rojo (principalmente ayocotes y sangre de toro) se cultivan en Nayarit, Estado de México, Guanajuato, San Luis Potosí y Zacatecas y son consumidos principalmente en la zona centro y sur del país. Por la aceptación del consumidor, el frijol se ha clasificado en, muy preferente donde se encuentran variedades como azufrado, mayocoba, negro jamapa, peruano, flor de mayo, flor de junio, pinto saltillo y bayo; preferente, donde se encuentran variedades como garbancillo, manzano, negro San Luis, negro Querétaro y pinto y no preferente representado por el bayo blanco, alubia blanca, negro Zacatecas, ojo de cabra y bayo berrendo [5]. El contenido de proteína en el frijol (*P. vulgaris*) es de alrededor del 18 al 25%, lo que convierte a estas semillas en una fuente atractiva de proteínas [1], ya que le proporciona ciertas características funcionales importantes, lo que les confiere una gran estabilidad térmica y capacidad de retención de agua, atributos ideales para su uso en productos que requieran altas temperaturas como son los productos de panadería [6]. Por lo anterior, las semillas de frijol pueden considerarse importantes para la producción de alimentos funcionales, lo que puede aumentar su valor económico. Por otro lado, también es importante determinar las propiedades físicas de las semillas de frijol en particular para poder mejorar y diseñar apropiadamente los equipos para lograr una mejor manipulación, transporte y procesado de estas [6, 7]. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar y comparar algunas propiedades físicas y morfológicas de las semillas y determinar los parámetros de color y propiedades funcionales de las harinas del frijol de mata y frijol peruano.

Metodología

Materiales

Los granos de frijol de mata (*Phaseolus vulgaris*) fueron adquiridos en la comunidad de Arroyo Iguana, San Felipe Usila, Oaxaca, México y mientras que el frijol peruano (*Phaseolus vulgaris*) fueron adquiridos en el mercado local de Salinas Cruz, Oaxaca, México. Posteriormente se trasladaron al Laboratorio de Ciencias de los Alimentos del Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtepec donde fueron procesados. Todos los reactivos utilizados en este proyecto fueron de las marcas comerciales Sigma y J. T. Baker, de grado alimenticio o superiores.

Características físicas y morfológicas de los frijoles

Se utilizó el método descrito por Mpotokwane et al. [8] para determinar las dimensiones lineales de los frijoles. Se determinó la longitud (L), ancho (W) y el espesor (T) a 100 granos de frijol, seleccionados de forma aleatoria. A partir de los cuales se calcularon el diámetro geométrico (D_g) Ec.1, diámetro aritmético (D_a) Ec. 2 propuestas por Bahnasawy [9] y la esfericidad (φ) Ec. 3, así como el volumen (V) Ec. 4 y 5 y el área de superficie (S) Ec. 6 propuesta por Mohsenin [10],

$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad \text{Ec. 1}$$

$$D_a = \frac{(L+W+T)}{3} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\varphi = \frac{(LWT)^{1/3}}{L} * 100 \quad \text{Ec. 3}$$

$$V = \frac{\pi B^2 L^2}{6(2L-B)} \quad \text{Ec. 4} \quad B = (WT)^{0.5} \quad \text{Ec. 5}$$

$$S_A = \pi D_g^2 \quad \text{Ec. 6}$$

La relación de aspecto (R) Ec. 7 se determinó por Maduako y Faborode [11] con la siguiente relación.

$$Ra = \frac{W}{L} \quad \text{Ec. 7}$$

El método descrito por Mpotokwane et al. [8] se utilizó para determinar el peso de 100 semillas de frijol.

Obtención de las harinas

Para obtener la harina de los frijoles se sometieron a un quebrado en un molino Grinding modelo 4-E (Quaker City, USA). Posteriormente se molieron en un molino de café (KRUPS Model GX4100, USA). La harina obtenida se pasó en un tamiz con una apertura de malla de 60 (0.250 mm) y se almacenó a temperatura ambiente en un recipiente cerrado de plástico hasta su utilización.

Determinación de color de las harinas

El color se determinó usando un colorímetro UltraScan® Vis (HunterLab, Hunter Associates Laboratory Inc., 11491 Sunset Hills Road, Reston, Virginia U.S.A). El equipo instrumental fue calibrado con un estándar blanco. Se obtuvieron los valores L^* (Luminosidad), a^* (grado de color, +rojo, -verde) y b^* (grado de color, +amarillo, -azul). La diferencia de color total (ΔE) fue calculada como: $\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$, donde ΔL , Δa y Δb representan la diferencia entre el valor L^* , a^* y b^* respectivamente, entre el estándar y la muestra [12].

Composición química proximal

Se emplearon los métodos de la AOAC [13]: Humedad (Método 925.09) se secó a 105 °C hasta peso constante; Cenizas (Método 923.03) se determinó como el residuo inorgánico resultante de la incineración a 550 °C/4 h; Grasa cruda (Método 920.39) se determinaron como los lípidos libres extraídos con hexano; Proteína cruda (Método 954.01) se usó el método Kjeldahl, usando 6.25 como factor de conversión de nitrógeno a proteína; Fibra cruda (Método 962.09) se determinó como el residuo orgánico combustible e insoluble que se obtiene después de que la muestra fue sometida a una digestión ácida y alcalina y el Extracto libre de nitrógeno (ELN) se calculó por diferencia.

Propiedades funcionales de las harinas

Capacidad de absorción de agua (CAA) y capacidad de solubilidad en agua (CSA)

La CAA y la CSA se determinaron de acuerdo con Hernández-Santos et al. [14]. A 10 mL de agua destilada se agregó 1 g de muestra, se agitó (Vortex-2 Genie, Modelo G-560, Scientific Industries, INC, USA) durante 30 s, posteriormente se centrifugaron a 3500 rpm/15 min (Centrifuga Hettich D-78532 1706-01, Modelo Rotina 380R, Alemania). El sobrenadante se decantó en una cápsula de porcelana previamente a peso constante. La CAA se calculó como el aumento de peso del sedimento obtenido después de decantar el sobrenadante con la Ec. 8. El sobrenadante se evaporó a 105 °C hasta sequedad y peso constante, la CSA fue determinado mediante la Ec. 9. Los resultados fueron expresados como gramos de agua retenida por gramo de muestra para la CAA y para la CSA en porcentaje.

$$CAA = (\text{Peso del sedimento húmedo (g)}) / (\text{Peso de la muestra seca (g)}) \quad \text{Ec. 8}$$

$$CSA = (\text{Peso del sobrenadante seco (g)}) / (\text{Peso de la muestra seca (g)}) \times 100 \quad \text{Ec. 9}$$

Capacidad de absorción de aceite (CAAc)

A 1 g de muestra se le añadió 10 mL de aceite de maíz y se agitaron (Vortex-2 Genie, Modelo G-560, Scientific Industries, INC, Bohemia, N.Y. USA) durante 30 s, se centrifugaron a 3500 rpm/15 min (Universal Compact Centrifuge HERMLE Labor Technik GmbH Mod Z 200A, Alemania). Los resultados se expresaron como gramos de aceite retenido por gramo de muestra de acuerdo con la Ec 10. [14].

$$CAAc = (\text{Peso del sedimento con el aceite (g)}) / (\text{Peso de la muestra seca (g)}) \quad \text{Ec. 10}$$

Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) de una vía y se determinaron las diferencias entre las medias mediante una prueba de diferencia mínima significativa (LSD), con un nivel de confianza del 95%, utilizando el programa estadístico Statistica Version 8.0 (StatSoft, Inc. 1984-2008, USA).

Resultados y discusión

Propiedades físicas y morfológicas de los frijoles

El conocimiento de las propiedades físicas de las semillas y granos son indispensables para la realización adecuada de las operaciones postcosecha, así como para el diseño del equipamiento para el manejo, transporte y acondicionamiento de estas. Las propiedades físicas y morfológicas de los frijoles evaluados se muestran en la Tabla 1 y estas mostraron diferencia estadística significativa ($p < 0.05$). Las propiedades físicas del FM y FP tuvieron valores promedios del largo (L), ancho (W), espesor (T) y peso individual (P) de 10.56 y 13.26 mm, 6.23 y 7.70 mm, 4.29 y 6.49 mm, 0.20 y 0.51 g, respectivamente, mostrando que el FP es de mayor tamaño. Los

valores hallados en este estudio fueron mayores a lo reportado para 12 especies de *Phaseolus* silvestres que mostraron valores de L entre 3.0 y 7.9 mm y un W entre 2.5 y 5.5 mm [15]. Mientras que, Lamz-Piedra et al. [16] reportaron valores de L, W y T de 10.43, 6.31 y 4.64 mm en granos de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) sembradas en época tardía, los cuales fueron muy similares al FM evaluado. Por otro lado, Vargas-Vázquez et al. [17] informaron valores de L (15 mm), W (10 mm) y T (6 mm) en frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) el cual fue similar a los valores obtenidos para el FP. Los frijoles FM y FP presentaron valores promedio de diámetro geométrico (D_g), diámetro aritmético (D_a), esfericidad (ϕ), superficie (S_a), volumen (V) y relación aspecto (R_a) fue de 6.55 y 8.65 mm, 7.03 y 9.12 mm, 62.08 y 65.32%, 135.48 y 236.30 mm², 1.81 y 2.77 mm³, 0.59 y 0.58, respectivamente, lo que significa que ambos frijoles evaluados tienen una forma de elipsoide. Estos resultados son similares a los reportados por Morales-Morales et al. [18] en 15 cultivares de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) que presentaron valores promedio de D_g , D_a y ϕ entre 4.03 y 7.32 mm, 4.26 y 7.50 mm, 65 y 79%, respectivamente. En relación al tamaño de los granos del FM y FP puede determinar su uso final en el mercado, por ejemplo, los granos de frijol de mayor tamaño son preferidas para enlatado y por otro lado, para los productores es una ventaja, ya que granos grandes tienen mayor rendimiento de producción por hectárea y en cuanto a la diferencia entre los D_g y D_a de estas leguminosas puede ser debido a que la humedad del grano genera un dilatamiento de las estructuras celulares aumentando así el tamaño de estos [18,19]. Las propiedades dimensionales evaluadas juegan un papel importante en la determinación del tamaño de apertura del tamiz para así poder fabricar equipos de separación, tamaño y clasificación [7].

Tabla 1. Propiedades físicas y morfológicas de las semillas del frijol de mata y frijol peruano (*Phaseolus vulgaris*).

Parámetros	Leguminosas	
	Frijol de mata (FM)	Frijol peruano (FP)
largo L (mm)	10.56 ± 0.66 ^a	13.26 ± 0.95 ^b
ancho W (mm)	6.23 ± 0.29 ^a	7.70 ± 0.55 ^b
espesor T (mm)	4.29 ± 0.37 ^a	6.40 ± 0.59 ^b
peso P (g)	0.20 ± 0.03 ^a	0.51 ± 0.09 ^b
diámetro geométrico D_g (mm)	6.55 ± 0.36 ^a	8.65 ± 0.59 ^b
diámetro aritmético D_a (mm)	7.03 ± 0.37 ^a	9.12 ± 0.61 ^b
esfericidad ϕ (%)	62.08 ± 1.97 ^a	65.32 ± 2.51 ^a
superficie de área S_A (mm ²)	135.48 ± 14.79 ^a	236.30 ± 32.11 ^b
volumen V (mm ³)	1.81 ± 0.21	2.77 ± 0.56
relación de aspecto R_a	0.59 ± 0.02 ^a	0.58 ± 0.03 ^a

Los valores son el promedio de 3 repeticiones ± su desviación estándar. ^{a-b} Letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

Color y composición química de las harinas.

Los parámetros de color y la composición química de las harinas del FM y FP se muestran en la Tabla 2. El FP mostró mayor L^* (88.60) ($p < 0.05$) mientras que el FM la L^* fue de 81.61, por otro lado, los parámetros de a^* y b^* de las harinas de FM y FP fueron de 1.19 y 0.54, 6.55 y 9.84, respectivamente, indicando el parámetro a^* que la harina del FM tuvo mayor tendencia hacia la coloración roja y la harina del FP su tendencia al rojo fue menor. El parámetro b^* nos indicó que el FP tuvo mayor tendencia hacia la coloración amarilla con respecto al FM, esto pudiera deberse a la presencia de lípidos y algunos compuestos fenólicos en la muestra. Cabe mencionar que la disminución de la L^* en el FM pudo ser debido al contenido de pigmentos de esta variedad ya que es un frijol de coloración negra por lo que, podría haber presencia de antocianinas y carotenoides que dan la pigmentación oscura a algunas leguminosas [20]. La ΔE en las harinas del FM y FP muestran que hubo diferencia estadística significativa ($p < 0.05$), donde la ΔE del FM fue de 18.98 y para el FP fue de 14.60. El color en las harinas puede proveer ciertos beneficios sobre la salud debido a la presencia de pigmentos y a su efecto antioxidante de estos, por lo que, el uso de estas harinas como ingrediente funcional en nuevos productos alimenticios podría traer efectos benéficos para el consumidor.

La composición química proximal de las harinas del FM y FP (Tabla 2), puede observarse que en algunos parámetros determinados (proteínas y ELN) hubo diferencia estadística significativa ($p < 0.05$). El contenido de proteínas fue mayor en el FM con un contenido de 23.25% y el FP fue de 19.17%, mientras que el contenido de

ELN en el FM y FP fue de 68.83 y 73.10%, respectivamente. El contenido proteico hallado en las harinas del FM y FP fueron similares a los resultados obtenidos por Castellanos-Ramos et al. [17] para la harina de frijol flor de junio Marcela con un 20% y el frijol flor de mayo Anita con un contenido de 21%. Esta diferencia puede deberse a las condiciones de cultivo que tuvieron estas variedades de leguminosas tales como la altitud, temperatura, humedad relativa y características de suelo tal como lo menciona Porrás-Loaiza et al. [6]. Estos resultados de la composición química proximal de las harinas del FM y FP mostraron que son buena fuente de proteína, por lo que pueden tener un gran potencial para combatir la desnutrición proteico-energética en los países en desarrollo, de igual forma podrían ser utilizados para la obtención de concentrados y aislados proteicos que podrían usarse para fortalecer un producto alimenticio con nutrientes para cumplir con los requisitos nutricionales de los consumidores.

Tabla 2. Parámetros de color y composición química proximal de las harinas del frijol de mata y frijol peruano (*Phaseolus vulgaris*).

Parámetros	Harinas	
	Frijol de mata (FM)	Frijol peruano (FP)
luminosidad (L^*)	81.61 ± 0.04 ^a	88.60 ± 0.48 ^b
enrojecimiento (a^*)	1.19 ± 0.05 ^b	0.54 ± 0.14 ^a
amarillamiento (b^*)	6.55 ± 0.31 ^a	9.84 ± 0.46 ^b
diferencia total de color (ΔE)	18.98 ± 0.07 ^b	14.60 ± 0.05 ^a
Componentes (%)	Frijol de mata	Frijol peruano
humedad	9.28 ± 0.25 ^a	9.23 ± 0.07 ^a
proteína cruda	23.25 ± 0.38 ^b	19.17 ± 1.25 ^a
grasa cruda	1.81 ± 0.21 ^a	1.83 ± 0.15 ^a
cenizas	4.35 ± 0.07 ^a	4.24 ± 0.05 ^a
fibra cruda	1.60 ± 0.01 ^a	1.67 ± 0.01 ^a
ELN	68.83 ± 0.04 ^a	73.10 ± 1.18 ^b

Los valores son el promedio de 3 repeticiones ± su desviación estándar. ELN = Extracto Libre de Nitrógeno. ^{a-b} Letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

Propiedades funcionales de las harinas.

Las propiedades funcionales de las harinas del FM y FP se muestran en la Tabla 3. Se puede observar que la CAA y la CSA en ambas leguminosas no mostraron diferencia significativa ($p < 0.05$). La harina del FM presentó una CAA de 5.47 y la harina del FP fue de 5.39 g de agua/g de muestra, mientras que la CSA fue de 5.37% en ambas leguminosas. Los resultados obtenidos en este estudio fueron mayores a los reportados por Okafor et al. [21] en la harina entera y desengrasada del frijol negro (*Phaseolus vulgaris*) con valores de 3.00 y 3.20 g de agua/g de muestra, respectivamente. Estas diferencias pueden ser debida a los contenidos de proteínas presentes en cada variedad de leguminosas, ya que una característica de la absorción de agua representa la capacidad que tienen los grupos polares de las proteínas de las harinas para asociarse con el agua en condiciones donde el agua es limitante (por ejemplo: masas y pastas). Por otro lado, la harina del FM presentó una CAAC de 3.69 g de aceite/g de muestra y la harina del FP fue de 4.37 g de aceite/g de muestra. Estos resultados fueron mayores a los reportados en harina entera de frijol negro (*P. vulgaris*) con valores de 1.57 g de aceite/g de muestra [21]. La capacidad de unión al aceite del material proteico es un factor importante que determina qué tan bien funcionará el material como extensor en productos de panadería, cárnicos o análogos según lo observado Chinma et al. [22].

Tabla 3. Propiedades funcionales de las harinas del frijol de mata y frijol peruano (*Phaseolus vulgaris*).

Propiedad funcional	Unidad	Harinas	
		Frijol de mata (FM)	Frijol peruano (FP)
capacidad de absorción de agua (CAA)	g de agua/g de muestra	5.47 ± 0.40 ^a	5.39 ± 0.23 ^a
capacidad de solubilidad en agua (CSA)	%	5.37 ± 0.12 ^a	5.37 ± 0.22 ^a
capacidad de absorción de aceite (CAAc)	g de aceite/g de muestra	3.69 ± 0.17 ^a	4.37 ± 0.37 ^b

Los valores son el promedio de 3 repeticiones ± su desviación estándar. ^{a-b} Letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadística significativa ($p < 0.05$).

Trabajo a futuro

La presente investigación se encuentra en la primera fase de su ejecución, ya que posteriormente se realizará la obtención de los concentrados proteicos de ambas leguminosas, realizar su caracterización física (color) y química (análisis químico proximal) del mismo y a partir del concentrado proteico obtener hidrolizados enzimáticos empleando enzimas comerciales (pepsina, pancreatina, alcalasa, y flavourzima). Una vez obtenidos los hidrolizados proteicos a diferentes tiempos de reacción se evaluarán *in vitro* diferentes bioactividades (actividad antioxidante, antihipertensiva, anticolesterolémica, y antidiabética). Se espera obtener hidrolizados proteicos con diferentes actividades biológicas.

Conclusiones

Las propiedades físicas y morfológicas de los granos de FM y FP han sido estudiados para generar información que podría ser utilizada en el diseño, innovación y desarrollo de accesorios, maquinarias, empaques para el manejo de postcosecha, procesamiento, transporte y almacenamiento de los granos de estas leguminosas. Ambas leguminosas exhibieron una forma elipsoide y su tamaño corresponde a lo reportado para otras leguminosas. Las harinas de estas leguminosas mostraron buenos valores de L^* por lo que, podrían ser consideradas como ingrediente funcional, ya que pueden estar presentes pigmentos que muestren actividad antioxidante. El contenido de proteína en ambas leguminosas fue alto (23.25 y 19.17%, respectivamente) lo que, las hace buena fuente de proteínas que podrían ser adicionadas a alimentos que requieran altos contenidos de energía y nutrientes, por lo que, valdría la pena fomentar el cultivo y consumo de estas leguminosas en regiones donde existan problemas de desnutrición. Las propiedades funcionales de las harinas del FM y FP no mostraron diferencia ($p > 0.05$) en la CAA y CSA, mientras que, la CAAc fueron diferentes, esto hace a estas harinas adecuadas para que sean utilizadas en sistemas alimenticios como la industria de la panadería, cárnicos o análogos de la carne, y confitería.

Referencias

- [1] V.J. Lara-Díaz, A.A. Gaytán-Ramos, A.J. Dávalos-Balderas, J. Santos Guzmán, B.D. Mata-Cárdenas, J. Vargas-Villarreal, A. Barbosa-Quintana, M. Sanson, A.G. Lopez-Reyes, J.E. Moreno-Cuevas, "Microbiological and toxicological effects of perla black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) extracts: *in vitro* and *in vivo* studies," *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, vol. 104, no. 2, pp. 81-86, 2009.
- [2] D. Magaña-Lemus, S.D. Gauchín-Piedra, L.D. Flores-Rico, "Análisis sectorial y de la dinámica de los precios del frijol en México," *Compendium: Cuadernos de Economía y Administración*, vol. 2, no. 3, pp. 1-21, 2015.
- [3] J. Ge, C.-X. Sun, A. Mata, H. Corke, R.-Y. Gan, Y. Fang, "Physicochemical and pH-dependent functional properties of proteins isolated from eight traditional Chinese beans," *Food Hydrocolloids*, vol. 112, no. 1, pp. 106288, 2021.
- [4] FAO, "Cereals, pulses, legumes and vegetable proteins. Codex Alimentarius," *FAO Corporate Document Repository*, vol. 194, no. 2, pp. 157-163, 2001/12/15/ 2001. Italy. pp.1-96. 2007.
- [5] G. Teniente-Martínez, "Aislamiento, caracterización y estudio genotóxico de extractos proteínicos de frijol ayocote negro y morado (*Phaseolus coccineus* L.) en ratón CD1⁺," *Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Celaya*, Celaya, Guanajuato, México. pp.1-81, 2014.

- [6] P. Porras-Loaiza, M.T. Jiménez-Munguía, M.E. Sosa-Morales, E. Palous, A. López-Malo, "Physical properties, chemical characterization and fatty acid composition of Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds," *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 49, no. 2, pp.571-577, 2014.
- [7] A. Sonowane, S.S. Pathak, R.C. Pradhan, "Physical, thermal, and mechanical properties of bael fruit," *Journal of Food Process Engineering*, vol. 43 no. 6, pp. e13393, 2020.
- [8] S.M. Mpotokwane, E. Gaditlhatlhelwe, A. Sebaka, V.A. Jideani, "Physical properties of bambara groundnuts from Botswana," *Journal of Food Engineering*, vol. 89, no. 1, pp. 93-98, 2008.
- [9] A.H. Bahnasawy, "Some physic and mechanical properties of garlic," *International Journal of Food Engineering*, vol. 3, no. 6, pp.1-20, 2007.
- [10] N.N. Mohsenin, "Physical properties of plant and animal materials". 2nd Ed. NY, USA, *Gordon and Breach Science Publishers*, pp. 79-127, 1986.
- [11] J.N. Maduako, M.O. Faborode, "Some physical properties of Cocoa pods in relation to primary processing," *Ife Journal Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 1-7, 1990.
- [12] I.A. Wani, D.S. Sogi, A.A. Wani, B.S. Gill, "Physico-chemical and functional properties of flours from Indian kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 53, no. 1, pp. 278-284, 2013.
- [13] AOAC, "Association of Official Analytical Chemists", Official Methods of Analysis, 18th ed (edited by W. Horwitz & G.W. Latimer) 15Gathersburg, MD, USA: AOAC International. 2012.
- [14] B. Hernández-Santos, O., Quijano-Jerónimo and J. Rodríguez-Miranda, "Physical, chemical, techno-functional, and thermal properties of *Leucaena leucocephala* seed," *Food Science and Technology*, vol. 42, pp. 1-9, 2022.
- [15] K.E. Meza-Vázquez, R. Lépiz-Ildefonso, J.J. López-Alcocer, M.M. Morales-Rivera, "Morphological and phenological characterization of wild bean (*Phaseolus*) species," *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 38, no. 1, pp. 17-28. 2015.
- [16] A. Lamz-Piedra, R.M. Cárdenas-Travieso, R. Ortiz-Pérez, V. Montero-Tavera, B. Benedicto-Coca, C.F. Fé-Montenegro, Y. Duarte-Leal, L.E. Alfonzo-Duque, "Evaluation of agro-morphological behavior based on the variability characterization of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines for late sowings," *Cultivos Tropicales*, vol. 37, no. 2, pp. 108-114. 2016.
- [17] P. Vargas-Vázquez, J.S. Muruaga-Martínez, S.E. Martínez-Villarreal, R. Ruiz-Salazar, S. Hernández-Delgado, N. Mayek-Pérez, "Diversidad morfológica del frijol ayocote del Carso Huasteco de México," *Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol. 82, pp. 767-775, 2011.
- [18] A.E. Morales-Morales, R.H. Andueza-Noh, C. Márquez-Quiroz, A. Benavides-Mendoza, J.M. Tun-Suárez, A. González-Moreno, C.J. Alvarado-López, "Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) de la Península de Yucatán," *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, vol. 6, no. 18, pp. 463-475, 2019.
- [19] Á. Rojas-Barahona, T.I. Aristizábal, "Efecto del contenido de humedad sobre propiedades físicas de la semilla de Vitabosa (*Mucuna deeringiana*)," *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, vol. 64, pp. 5961-5971, 2011.
- [20] D.B. Rodríguez-Amaya, "Natural food pigments and colorants," *Current Opinion in Food Science*, vol. 7, pp. 20-26, 2016.
- [21] J.Z. Castellanos-Ramos, H. Guzmán-Maldonado, J.J. Muñoz-Ramos, J.A. Acosta-Gallegos, "Flor de mayo anita, nueva variedad de frijol para la región central de México," *Revista Fitotécnica Mexicana*, vol. 26, no. 3, pp. 209-211, 2003.
- [22] C.E. Chinma, J.C. Anuonye, O.C. Simon, R.O. Ohiare, N. Danbaba, "Effect of germination on the physicochemical and antioxidant characteristics of rice flour from three rice varieties from Nigeria," *Food Chemistry*, vol. 185, pp. 454-458, 2015.

Evaluación de la encapsulación de extractos hidroalcohólicos de semilla de *Moringa oleifera* mediante gelificación iónica

Iván Rivera-Abascal*, Ivet Gallegos-Marín, Erasmo Herman-Lara, Cecilia Eugenia Martínez-Sánchez
Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico Nacional de México,
Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Av. Tecnológico, Dr. Víctor Bravo Ahuja s/n, 4 col. 5 de mayo.

Ivanrivera97@hotmail.com

C.P. 68350, Tuxtepec, Oaxaca, México

Área de participación: Ingeniería Química.

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue obtener las mejores condiciones para la encapsulación de extractos hidroalcohólicos de semilla de *Moringa oleifera* mediante gelificación iónica. Se obtuvieron cápsulas con un contenido de humedad de 78.7-92.43%, la cual disminuyó en 4 semanas. Se evaluó el tiempo de liberación mediante la simulación del jugo gástrico, obteniendo valores de 37.53 a 38.46 min. En los parámetros de color, las muestras encapsuladas no presentaron cambios durante el almacenamiento, sin embargo, las muestras del polvo y el extracto tuvieron tonalidades oscuras, lo cual quiere decir que las cápsulas lograron conservar su color durante el almacenamiento. Se considera que la muestra con 100 mL extracto y 2.5 g de alginato de sodio fue el mejor tratamiento que se obtuvo en la encapsulación de extractos, ya que logró conservar el mayor contenido de polifenoles (125.13-14.85 mgEAG/g extracto) y flavonoides (22.31-6.87 mgEQ/g extracto) totales durante 4 semanas de almacenamiento.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, encapsulación, gelificación, alginato.

Abstract

The objective of this work was to obtain the best conditions for the encapsulation of hydroalcoholic extracts of Moringa oleifera seed by ionic gelation. Capsules with a moisture content of 78.7-92.43% were obtained, which decreased in 4 weeks. Release time was evaluated by simulating gastric juice, which ranged from 37.53 to 38.46 min. In the color parameters, the encapsulated samples did not show changes during 4 weeks of storage, however, the powder and extract samples had dark tones, which means that the capsules managed to retain their color during storage. It is considered that the sample with 100 mL extract and 2.5 g of sodium alginate was the best treatment obtained in the encapsulation of extracts, since it managed to preserve a higher content of polyphenols (125.13-14.85 mgEAG/g extract) and flavonoids (22.31-6.87 mgEQ/g extract) during 4 weeks of storage.

Key words: *Moringa oleifera*, encapsulation, gelation, alginate.

Introducción

La Moringa es el único género dentro de la familia Moringaceae, la cual comprende 13 especies, las cuales son árboles de climas tropicales y subtropicales. La moringa es una especie de árbol originario del norte de la India, conocido popularmente como árbol de la vida, árbol generoso, árbol milagroso y árbol de la esperanza. Crece en casi cualquier tipo de suelo, incluso en condiciones de elevada aridez estacional, lo que hace de esta planta un recurso para las poblaciones que habitan en estos lugares. La *Moringa oleifera* es una de las especies más conocidas y de mayor interés en la familia Moringaceae, debido a su importancia biológica es considerada como una planta medicinal [1], posee un elevado contenido de vitaminas (A, C, complejo B) y minerales (Ca, Fe, Mg), también posee un alto contenido de polifenoles, y flavonoides, los cuales le proporcionan propiedades bioactivas (anticancerígena, antioxidante, hipoglucémica, y antiinflamatoria). Las vainas verdes, las hojas, las flores, las semillas y las raíces, ofrecen una amplia variedad de productos alimenticios ya que todas estas partes de la planta son comestibles [2]. La semilla de moringa es rica en vitaminas, minerales, compuestos bioactivos, como aminoácidos esenciales y flavonoides que reducen el riesgo de cáncer por su actividad antioxidante. Las semillas son de las partes más importantes de esta planta, ya que contienen 19 de los 22 aminoácidos, incluyendo a los 9 aminoácidos esenciales que nuestro cuerpo no puede producir por sí mismo.

La mayoría de las plantas pierden sus propiedades nutritivas cuando se procesan, un ejemplo claro es cuando se compara el contenido nutritivo de la harina de semilla de moringa cruda, germinada y fermentada. Se encontró que los compuestos fitoquímicos eran más altos en la harina de semilla cruda, y el contenido de aminoácidos estaba en su punto máximo que en las harinas de semillas fermentadas y germinadas. Esto es el resultado de reacciones bioquímicas que ocurren durante la germinación y la actividad microbiana en la fermentación. Por lo cual es necesario la conservación y la protección de los compuestos bioactivos para que así tengan una alta estabilidad en el almacenamiento. La encapsulación es un método utilizado en la protección y conservación de biomoléculas de alto valor alimentario y farmacéutico [3]. En este proceso las sustancias bioactivas de los alimentos se introducen en la matriz para impedir que se pierdan, así como protegerlas de la reacción con otros compuestos o bien, frenar las reacciones de oxidación a causa de la luz o el oxígeno. También se ha utilizado para la liberación sostenida o controlada de fármacos, sabores, aromas, perfumes, fertilizantes y otros.

La encapsulación fue realizada por el método de gelificación iónica utilizando alginato de sodio como principal agente encapsulante [4]. El alginato es un polisacárido aniónico que proviene de las paredes celulares de las algas marinas pardas, el cual ha sido utilizado como agente encapsulante debido a su matriz biodegradable, no tóxica y resistente que protege a éstos de las condiciones adversas del entorno, enmascara sabores y olores y, mejora su estabilidad y biodisponibilidad. El proceso de formación del gel se inicia a partir de una solución de sal de alginato y una fuente de calcio externa o interna desde donde el ion calcio se difunde hasta alcanzar la cadena polimérica, como consecuencia de esta unión se produce un reordenamiento estructural en el espacio resultando en un material sólido con las características de un gel [5]. La encapsulación de un alimento por gelificación iónica utilizando alginato de sodio, ofrece una posibilidad de diversificar la presentación de un mismo alimento con los beneficios que ofrece la encapsulación, prolongando sus características ya sea sensoriales y también las nutricionales, además de que protege el material activo de la degradación producida por el medio ambiente al cual es sometido ya sea directa o indirectamente como por ejemplo el calor, aire, luz y la humedad. Por lo cual el objetivo del presente trabajo fue obtener las mejores condiciones para la encapsulación de extractos hidroalcohólicos de semilla de *Moringa oleifera* mediante gelificación iónica.

Metodología

Materiales

La materia prima fue cosechada en el municipio de San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca. De la cual se obtuvieron los frutos de *Moringa oleifera*, la cual es una vaina seca que posteriormente se abrió para separar la semilla y la almendra.

Preparación

Las almendras se limpiaron manualmente y se seleccionaron las semillas que no presentaron daño físico. Las semillas seleccionadas fueron secadas a 60 °C en estufa durante 24 h. Posteriormente fueron pasadas a un tamiz de malla N° 80 (0.177 mm). El polvo obtenido fue utilizado para obtener los extractos hidroalcohólicos de semilla de *Moringa oleifera*. Al polvo se le determinó el rendimiento% y se le realizó el análisis químico proximal [6].

Extracción de los compuestos bioactivos

La extracción se realizó asistida por ultrasonido [7], con un tiempo de extracción de 30 min, a una frecuencia de 80 kHz/100% y a una temperatura de 30 °C. El solvente utilizado fue etanol/ agua (70:30 mL), y la proporción del polvo y el solvente fue en relación 1:18 P/V. Posteriormente las mezclas obtenidas por ultrasonido se filtraron al vacío para así eliminar el solvente alcohólico y dejar el extracto acuoso con ayuda de un rotaevaporador (Buchi Labortechnik, AG 9230, Flawil/Switzerland). Después de la rotaevaporación se continuó con la encapsulación.

Diseño experimental

Se realizó un diseño de experimentos factorial completo mediante el software Design-Expert 7.0 para la obtención de las cápsulas por gelificación iónica. El cual consistió en 9 tratamientos (por triplicado), teniendo como variables independientes: las distintas concentraciones de extracto de semilla de *Moringa oleifera* (50, 75 y 100 mL), el alginato de sodio (2, 2.5 y 3 g) y goma xantana (0.5 g) y como variables de respuesta: la morfología (estructura), contenido de polifenoles, flavonoides y la eficiencia de encapsulación.

Preparación de las mezclas a encapsular

Las mezclas para encapsular se prepararon de acuerdo con el diseño de experimentos mencionado anteriormente, donde se mezcló el extracto de semilla de *Moringa oleifera* con las distintas concentraciones de alginato de sodio y goma xantana. Se preparó utilizando un homogeneizador de alta velocidad (T18 Ultra-Turrax, IKA India Pvt., Ltd.) a 10,000 rpm durante 5 min.

Formación de las cápsulas por gelificación iónica

Para la obtención de las cápsulas se utilizó el método de gelificación iónica por goteo aplicando la extrusión, en donde se mantuvo cada una de las mezclas a encapsular en agitación constante durante 10 min. Posteriormente se realizó la extrusión con ayuda de una jeringa de 10 mL con una aguja de calibre 21Gx32 mm a una velocidad aproximada de 3.5 mL/min, dejando caer gota por gota en una solución de cloruro de calcio al 0.2 M, después se filtró al vacío y se almacenó bajo refrigeración a 4 °C [8].

Análisis al encapsulado

Caracterización morfológica y estructural de las cápsulas

La morfología se analizó mediante la obtención de las micrografías, utilizando un microscopio óptico (Axiostar plus) y un microscopio digital (Ryscom-Amszoom). Se observó a 5X, 10X, 40X. El diámetro de las cápsulas se midió con ayuda de un Vernier de la marca General-Ultratech Stainless Steel. Se tomó una muestra de 50 cápsulas al azar de cada tratamiento y se registró el diámetro de cada una.

Determinación de color

El color de los extractos hidroalcohólicos de moringa se determinó mediante el uso de un colorímetro triestímulo Hunter Lab (MiniScan Hunter Lab, modelo 45/0L, Hunter Associates Lab., Ind., Reston Virginia U.S.A). En donde se obtuvieron los valores L (claridad), a^* (cromaticidad rojo- verde) y b^* (cromaticidad amarillo-azul) a partir de los cuales se calcularon los valores de C^* (cromaticidad), h° (ángulo Hue) y ΔE (diferencia total de color).

Evaluación de la liberación de las cápsulas

Se realizó la evaluación de la liberación de las cápsulas mediante la simulación del proceso gástrico, en donde se prepararon soluciones de ácido clorhídrico (HCl) ajustándolas a un pH de 1 a 3, posteriormente se colocaron en un baño ultrasónico y se evaluó el tiempo de liberación (min) de cada una de las cápsulas elaboradas.

Evaluación de los compuestos bioactivos

Cuantificación de polifenoles totales (TPC)

El contenido de polifenoles totales en los extractos se determinó por el método de Folin-Ciocalteu modificado por Singleton y Rossi (1965). Cada muestra se analizó por triplicado preparando un blanco de reactivos. Las muestras liofilizadas se disolvieron para tener una concentración entre 1-2.5 mg/mL. La curva de calibración se llevó a cabo con ácido gálico con diferentes concentraciones: 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1 y 0.05 mg/mL. Los resultados se reportaron como mg equivalentes de ácido gálico/g de extracto.

Cuantificación de Flavonoides totales (TFC)

El contenido de flavonoides totales se llevó a cabo por el método descrito por Liu & Zhu, 2002. A cada una de las muestras o estándares se adicionaron 1250 μ L agua desionizada, 75 μ L de NaNO_2 al 5% y se dejaron reposar durante 6 min, posteriormente se adicionaron 150 μ L de AlCl_3 al 10% y se dejó reposar durante 5 min. Después se adicionaron 500 μ L de NaOH 1M y se completó la disolución a 2.5 mL con agua desionizada. Las muestras

fueron leídas 510 nm después de 30 min de incubación. La curva de calibración se preparó con quercetina como estándar a diferentes concentraciones (50, 100, 150, 200 y 250 µg/mL). Los resultados se reportaron como mg equivalentes de quercetina/g de extracto.

Eficiencia de encapsulación (%)

La eficiencia de encapsulación fue calculada utilizando las siguientes ecuaciones, respectivamente para cada análisis y cada muestra:

$$\frac{\text{Contenido de polifenoles Extracto}}{\text{Contenido de polifenoles Cápsula}} \times 100\% \quad \text{ó} \quad \frac{\text{Contenido de flavonoides Extracto}}{\text{Contenido de flavonoides Cápsula}} \times 100\%$$

Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos en cada prueba fueron analizados estadísticamente por un análisis de varianza de una vía, con una comparación de medias empleando la prueba de Tukey para determinar si existían diferencias significativas entre las medias de cada tratamiento utilizado un nivel de confianza del 95%, empleando el software STATISTICA 10.

Resultados y discusión

Rendimiento del polvo

El resultado obtenido del rendimiento del polvo de semillas de *Moringa oleifera* se muestra en la tabla 1, estos resultados indican un rendimiento de 61.21% y una pérdida de 38.79%, esto se debe a que algunas semillas presentaban características de descomposición debido a su alto contenido de humedad, además de mostrar daño físico en su estructura externa. También se debe a las pérdidas que se pudieron tener durante el proceso de molienda y tamizado de la semilla.

Tabla 1. Rendimiento del polvo de semillas de *Moringa oleifera*.

Materia Prima	Peso de semillas completas (kg)	Peso del almendro de la semilla (kg)	Peso del polvo obtenido (kg)	Rendimiento (%)
Semilla (<i>Moringa oleifera</i>)	4.81	3.52	2.94	61.21

Análisis Químico Proximal del polvo

Los resultados mostraron que las semillas contenían un porcentaje de humedad de 4.97%. El contenido de proteína cruda (40.44%), fibra cruda (4.40%) y cenizas (5.35%) fue mayor al reportado por Pérez-Tejas en el 2020. Esto se debe principalmente a la materia prima utilizada, ya que los resultados pueden variar dependiendo del tipo de suelo de cultivo, de donde se obtuvieron los frutos, también depende de factores climatológicos de la región y de los cuidados que recibió el árbol, como de la cantidad de agua recibida en el año de cosecha y los nutrientes que le fueron proporcionados. El contenido de grasas (44.28%) fue menor a lo reportado por Pérez-Tejas en el 2020 [6]. (46.27 a 48.89%), esto puede deberse al tiempo de exposición que tuvieron las semillas después de haber sido cosechadas y si tuvieron contacto directo con la luz solar, lo que pudo provocar una oxidación y degradación de los ácidos grasos que se encontraban presentes antes de ser estudiadas.

Parámetros físicos de las cápsulas

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en el contenido de humedad de las cápsulas, diámetro y el tiempo de liberación de las cápsulas analizadas durante dos distintos tiempos, es decir, al crear las cápsulas y 4 semanas después (aproximadamente 28 días).

Tabla 2. Resultados obtenidos en el contenido de humedad, diámetro y el tiempo de liberación de las cápsulas al inicio y a los 28 días.

Muestra	Humedad%		Diámetro (mm)		Liberación (min)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1	84.36±1.19 ^{dA}	80.78±0.87 ^{cB}	3.34±0.29 ^{bA}	2.69±0.29 ^{bB}	36.43±0.92 ^{bA}	35.51±0.90 ^{bcB}
2	89.35±0.51 ^{bA}	82.12±0.32 ^{bB}	3.51±0.34 ^{abA}	2.86±0.43 ^{abB}	38.46±0.45 ^{aA}	37.53±0.4 ^{aB}

3	92.43±0.03 ^{aA}	85.39±1.14 ^{aB}	4.14±0.73 ^{abA}	3.49±0.21 ^{abB}	37.16±0.28 ^{abA}	36.49±0.26 ^{bB}
4	78.7±1.06 ^{eA}	71.42±0.64 ^{eB}	3.64±0.25 ^{abA}	2.99±0.65 ^{abB}	36.21±0.57 ^{bA}	35.41±0.59 ^{bcB}
5	85.34±1.72 ^{cdA}	79.72±1.24 ^{cb}	3.67±0.40 ^{abA}	3.02±0.23 ^{abB}	36.16±0.28 ^{bA}	35.53±0.36 ^{bcB}
6	87.65±0.55 ^{bcA}	83.31±0.92 ^{bB}	4.58±0.27 ^{aA}	3.93±0.09 ^{ab}	35.40±0.69 ^{cA}	34.48±0.74 ^{cb}
7	84.43±1.28 ^{dA}	77.99±1.28 ^{dB}	3.45±0.30 ^{abA}	2.81±0.17 ^{abB}	33.51±0.75 ^{dA}	32.50±0.72 ^{dB}
8	85.07±1.41 ^{cdA}	78.33±1.32 ^{dB}	4.05±0.16 ^{abA}	3.41±0.53 ^{abB}	35.33±0.15 ^{cA}	34.52±0.08 ^{cb}
9	86.71±0.24 ^{cdA}	80.44±0.44 ^{cb}	4.53±0.50 ^{aA}	3.88±0.49 ^{ab}	34.10±0.20 ^{cdA}	33.05±0.16 ^{cdB}

Los valores son la media ± desviación estándar (n = mínimo tres réplicas); los valores con letras minúsculas indican diferencia significativa (p<0.05) entre los distintos tratamientos. Letras diferentes en mayúsculas indican diferencia significativa (p<0.05) entre las muestras analizadas en distinto tiempo. M=Muestra

En el contenido de humedad se observa que todas las cápsulas elaboradas presentaron un contenido de humedad mayor al reportado por Salas en el 2020 [9], el cual fue de 53.81%, esto se debe a que la muestra que se encapsuló fue un extracto en estado líquido, que al eliminar el 70% del solvente (etanol) quedó una solución acuosa, la cual correspondía al 30% (agua destilada) de esa solución hidroalcohólica. Las muestras que presentaron un mayor contenido de humedad fueron la 1, 2 y 3 (de 84.36 a 92.43%) ya que esas contenían en menor proporción las concentraciones de alginato de sodio (2 g). Todas las muestras presentan diferencias significativas entre cada tratamiento, al igual que en el tiempo final, hubo disminuciones en el contenido de humedad, las cuales fueron significativas. En el tamaño de diámetro obtenido de las cápsulas, se muestran variaciones numéricas entre cada una de las muestras, sin embargo, no son estadísticamente significativas. En el tiempo final, hubo una disminución significativa, lo cual puede deberse a la pérdida de humedad que tuvieron las cápsulas durante los 28 días de almacenamiento. Uno de los principales factores que influyen en el tamaño de las cápsulas es la distancia de separación existente entre la jeringa y la solución receptora de cloruro de calcio, la viscosidad de la solución a encapsular y las concentraciones de alginato de sodio utilizadas. En la liberación de las cápsulas hubo mejores resultados en los tratamientos que contenían una mayor concentración de alginato de sodio, ya que los tiempos de liberación fueron más rápidos, los cuales iban de 33.51 a 34.10 min. Esto se debe a que el alginato de sodio se presenta más soluble en soluciones con un pH ácido, es decir que, a mayor concentración de alginato de sodio, mayor será la liberación de la cápsula.

Morfología y estructura

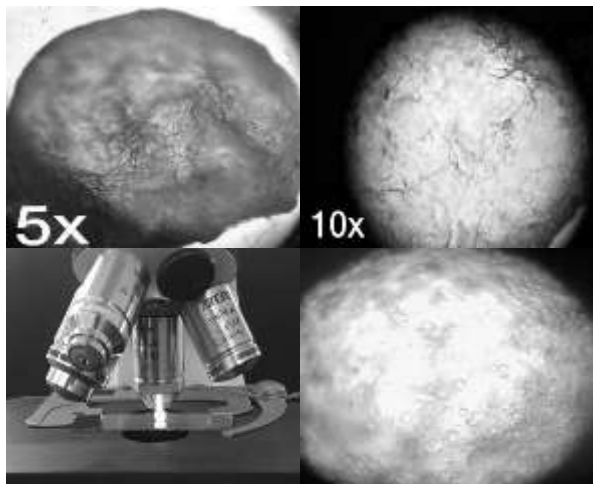


Figura 1. Imágenes obtenidas mediante un microscopio óptico tomadas con diferentes magnitudes (5x, 10x y 40x).



Figura 2. Imágenes obtenidas mediante un microscopio digital de la marca Ryscom-Amszoom observadas a una magnitud de 10x.

En la figura 1 se muestran las imágenes obtenidas mediante un microscopio óptico a distintas magnitudes, se observa que el interior de la cápsula no presenta grietas o fisuras que pudieran afectar la calidad de las mismas. Las cápsulas con mayor contenido de alginato de sodio presentaron una estructura más rígida y compacta. En la figura 2 se muestran las imágenes obtenidas con un microscopio digital, en donde se puede apreciar la estructura externa de la cápsula, la cual muestra una estructura esférica con una superficie lisa y homogénea. Las cápsulas con una menor concentración de alginato de sodio presentaron una estructura irregular y una superficie agrietada. Se considera que las cápsulas elaboradas con una concentración media de alginato de sodio (2.5 g) presentaron una estructura esférica (regular), lisa, sólida y con una mayor estabilidad, lo cual es característico de las cápsulas elaboradas con alginato de sodio.

Determinación de Color

Se realizó el análisis colorimétrico al extracto y a cada una de las cápsulas, para poder determinar las diferencias puntuales entre cada una de las muestras obtenidas y así comparar si existen cambios significativos entre el tiempo inicial y al final del almacenamiento. En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos, en la cual se observa que en el extracto hubo cambios significativos entre el tiempo inicial y final en todos los parámetros analizados, ya que el extracto contiene en su mayoría ácidos grasos, los cuales le dieron tonalidades más oscuras al final del almacenamiento y esto puede deberse a que se degradaron estos compuestos o hubo una reacción de oxidación como consecuencia del efecto de la luz a la cual pudo estar sometida durante las cuatro semanas de almacenamiento. Las cápsulas tuvieron variaciones numéricas durante el tiempo inicial y final, sin embargo, no fueron estadísticamente significativas. Esto da como resultado que la encapsulación con alginato de sodio logró proteger el extracto en todos sus atributos de color por un tiempo aproximado de 28 días, en donde no se presentaron cambios significativos en cada una de las cápsulas realizadas, lo cual indica que es un buen protector contra los efectos de luz que pudieran oxidar los ácidos grasos y degradar los compuestos bioactivos presentes en el extracto.

Tabla 3. Resultados de color de las cápsulas de extracto de semilla de *Moringa oleifera* analizadas al inicio y al final del almacenamiento.

M	L*		C*		h°		ΔE	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
E	36.34±0.11 ^{ca}	23.63±0.18 ^{dB}	3.84±0.20 ^{ba}	1.80±0.11 ^{cb}	0.25±0.02 ^{ea}	0.35±0.03 ^a	63.31±0.12 ^{aB}	75.77±0.18 ^a
1	54.99±1.51 ^{ba}	54.84±1.33 ^{ba}	1.74±0.19 ^{cdA}	1.95±0.27 ^{ca}	1.36±0.06 ^{ba}	1.27±0.04 ^a	45.87±1.51 ^{deA}	44.58±1.32 ^c
2	49.32±0.52 ^{ba}	49.82±1.18 ^{bcA}	1.85±0.29 ^{ca}	1.85±0.01 ^{ca}	1.44±0.13 ^{aA}	1.45±0.10 ^a	49.64±0.52 ^{bcA}	49.59±1.18 ^b
3	50.67±0.08 ^{ba}	50.63±0.57 ^{ba}	1.81±0.03 ^{ca}	2.06±0.15 ^{ba}	1.41±0.02 ^{ab}	1.24±0.09 ^a	48.74±0.07 ^{ca}	48.79±0.56 ^b
4	47.86±0.59 ^{ba}	50.34±1.04 ^{ba}	1.84±0.28 ^{ca}	1.88±0.17 ^{ca}	1.47±0.05 ^{aA}	1.46±0.22 ^a	48.17±0.58 ^{ca}	46.08±1.04 ^b
5	47.66±0.09 ^{ca}	47.61±0.25 ^{ca}	1.54±0.06 ^{cdA}	1.46±0.23 ^{ca}	1.25±0.04 ^{ca}	1.23±0.07 ^a	51.52±0.09 ^{ba}	51.81±0.25 ^b
6	43.09±3.29 ^{bc}	43.85±0.46 ^{bcA}	1.34±0.35 ^{dA}	1.74±0.28 ^{ca}	1.21±0.23 ^{ca}	1.04±0.06 ^c	53.48±3.29 ^{ba}	49.56±0.47 ^b
7	53.56±0.79 ^{ba}	54.28±1.53 ^{ba}	1.76±0.25 ^{cdA}	1.44±0.37 ^{aA}	1.11±0.29 ^{ba}	1.06±0.34 ^d	46.44±0.17 ^{dA}	46.07±1.43 ^b
8	52.07±0.51 ^{ba}	53.93±0.91 ^{ba}	1.43±0.21 ^{dA}	1.88±0.48 ^{ca}	1.31±0.09 ^{bc}	0.98±0.21 ^c	46.43±0.79 ^{dA}	45.49±0.92 ^c
9	48.58±0.16 ^{ba}	48.59±3.31 ^{ca}	1.61±0.42 ^{cdA}	3.12±0.08 ^{ab}	0.88±0.39 ^{dA}	0.35±0.06 ^c	50.67±0.18 ^{bcA}	50.89±3.29 ^b

Los valores son la media \pm desviación estándar (n = mínimo tres réplicas); Letras diferentes en la misma fila indican valores significativamente diferentes ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Tukey. M= Muestra, E=Extracto de semilla de *Moringa oleifera*.

Las cápsulas presentaron colores verde-amarillo, y tonalidades claras (blanco), en todos los tratamientos estudiados, estos atributos fueron conservados durante los 28 días de almacenamiento y no sufrieron algún tipo de cambio físico durante ese tiempo.

Evaluación del contenido de polifenoles totales (TPC)

Los resultados obtenidos de la cuantificación de polifenoles totales se muestran en la figura 3, en donde se observa una comparación del contenido de polifenoles totales del extracto y de los 9 tratamientos de cápsulas, que fueron analizados en un tiempo inicial y monitoreado durante cuatro semanas de estudio. El extracto tuvo un contenido inicial de 166.02 mg extracto de ácido gálico/g extracto, el cual disminuyó significativamente durante la primera semana, perdiendo más del 80% del contenido de polifenoles y llegando a un contenido final de 0.27 mg EAG/g extracto en la semana 4 del estudio.

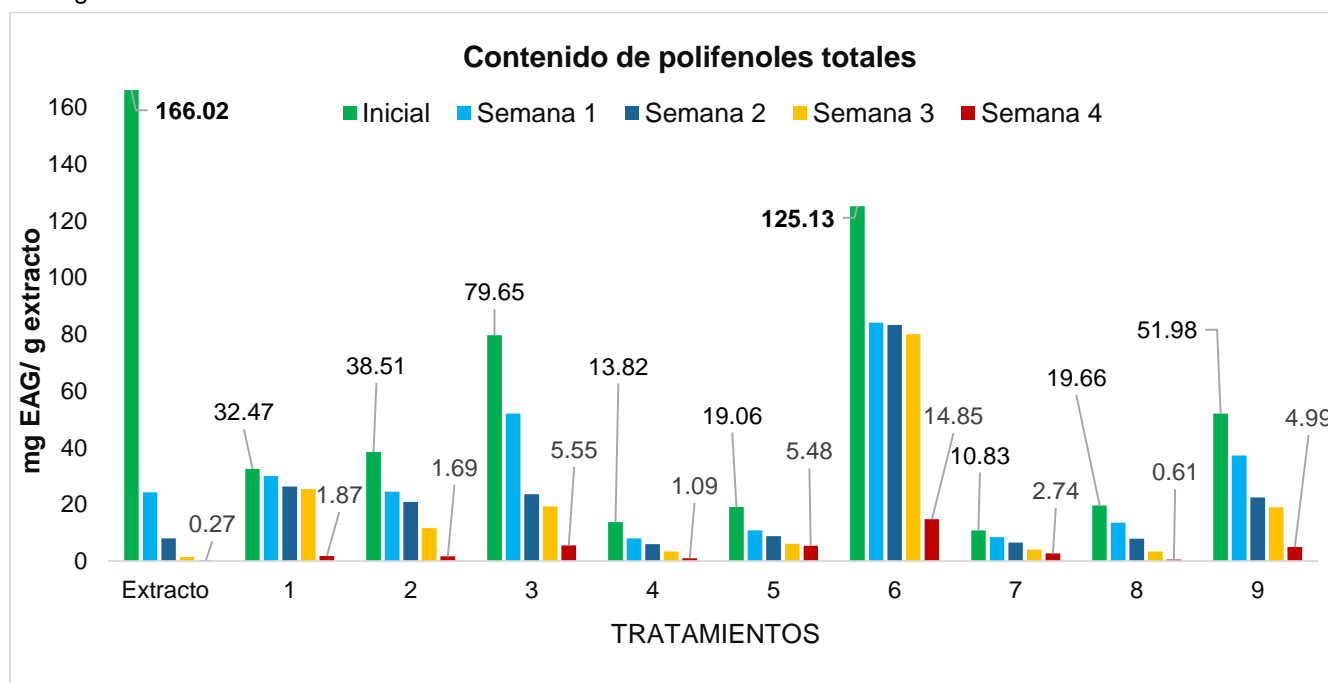


Figura 3. Gráfica de resultados obtenidos del análisis de contenido de polifenoles totales en extracto y cápsulas de semilla de *Moringa oleifera*.

También se observa que las condiciones de encapsulación del tratamiento 6, que consistían en 100 mL de extracto de semilla de *Moringa oleifera*, 2.5 g de alginato de sodio y 0.5 g de goma xantana, fue el mejor tratamiento con respecto al contenido de polifenoles totales, el cual fue de 125.13 mg EAG/g extracto, con una eficiencia de encapsulación del 75.02%, siendo la que tuvo un mayor contenido inicial y la que logró conservar una menor pérdida de polifenoles totales durante las 4 semanas de estudio. Durante las primeras 3 semanas de almacenamiento la cápsula 6 logró conservar más del 70% del contenido de polifenoles totales, teniendo una pérdida significativa hasta la semana 4, que llegó a un contenido mínimo de 14.85 mg EAG/g extracto. Lo cual indica que estas condiciones fueron las adecuadas para la conservación y protección de polifenoles totales presentes en el extracto de semilla de *Moringa oleifera*.

Evaluación del contenido de flavonoides totales (TFC)

Los resultados obtenidos de la cuantificación de flavonoides totales se muestran en la figura 4, en donde se observa una comparación del contenido de flavonoides totales del extracto y de los 9 tratamientos de cápsulas,

que fueron analizados en un tiempo inicial y monitoreado durante cuatro semanas de estudio. El extracto tuvo un contenido inicial de 37.95 mg extracto de quercetina/g extracto, el cual disminuyó significativamente más de un 85% durante la primera semana de almacenamiento, sin embargo, no hubo diferencia significativa en la semana 2, hasta la semana 3 y 4 en donde perdió del 95 al 99% del contenido de flavonoides totales.

La cápsula 3 fue la que tuvo una mayor eficiencia de encapsulación, la cual fue del 71.66% con un contenido de 26.98 mg EQ/g extracto durante la semana inicial, la cual fue disminuyendo paulatinamente durante la semana 1, 2 y 3, hasta que en la semana 4 tuvo un contenido final de 6.01 mg EQ/g extracto.

Por otro lado, la cápsula 6 tuvo una eficiencia de encapsulación menor (59.26%), con un contenido de 22.31 mg EQ/g extracto, siendo significativamente menor que la cápsula 3, pero durante la semana 2, la pérdida de flavonoides de la cápsula 6 fue menor que la cápsula 3. En la semana 4 del estudio, la cápsula 6 fue la que tuvo un mayor contenido de flavonoides totales (6.87 mg EQ/g extracto) pero no fue significativamente diferente que la cápsula 3 (6.01 mg EQ/g extracto), ya que no hubo diferencias estadísticas entre estas dos muestras, en el caso del contenido de flavonoides totales, lo cual indica que ambos tratamientos resultaron buenos en la conservación y protección de este compuesto bioactivo.

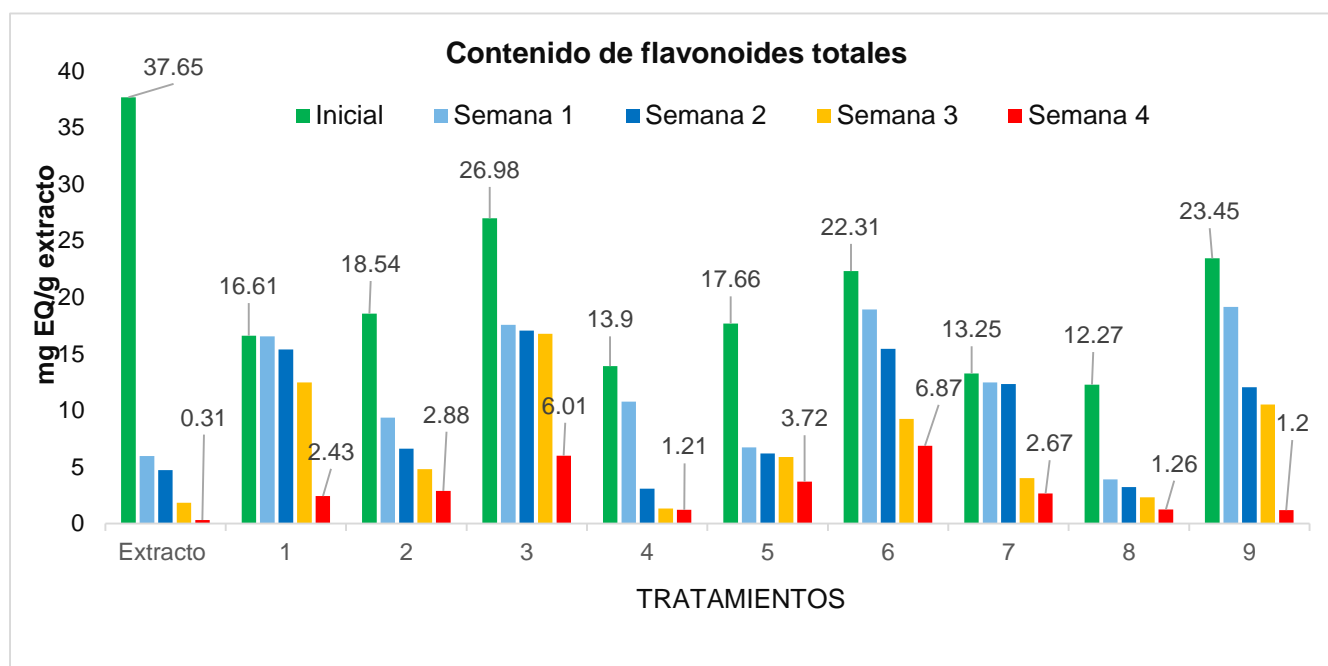


Figura 4. Gráfica de resultados obtenidos del análisis de contenido de flavonoides totales en extracto y cápsulas de semilla de *Moringa oleifera*.

Conclusiones

Las cápsulas elaboradas con una mayor cantidad de extracto de semilla de *Moringa oleifera*, presentaron un mayor contenido de humedad, la cual disminuyó a los 28 días de su elaboración, sin embargo su estructura física siguió siendo resistente y uniforme en comparación con las otras cápsulas. La liberación de las cápsulas fue más rápida en las que fueron elaboradas con un mayor contenido de alginato de sodio, debido a que este es más soluble en soluciones con un pH ácido. Lo cual indica que a mayor contenido de alginato de sodio, menor será el tiempo de liberación, independientemente de su estructura física y tamaño de partícula. En los parámetros de color, las muestras encapsuladas no presentaron cambios de color durante las cuatro semanas de almacenamiento, sin embargo las muestras del polvo y el extracto tuvieron tonalidades más oscuras, lo cual quiere decir que las cápsulas lograron conservar su color durante el almacenamiento. En el contenido de flavonoides totales, la cápsula que tuvo una mayor eficiencia de encapsulación fue la 3 (100 mL E-2g AS) con un 71.66%, logrando conservar durante cuatro semanas el contenido de flavonoides totales, que comparado con el

extracto sin encapsular la diferencia es significativa. El extracto tuvo una pérdida mayor al 80% de contenido de flavonoides durante la semana 1 y 2. En el caso del contenido de polifenoles totales, la muestra 6 (100 mL E-2.5g AS), fue la que tuvo una mayor eficiencia de encapsulado con un 75.02%, del cual se conservó más del 65% de polifenoles totales durante las primeras tres semanas. En la semana 4, lograron conservar más del 10% de polifenoles totales, a diferencia del extracto el cual perdió el 99% durante el mismo tiempo de almacenamiento. Hasta el momento se considera que la muestra 6 (100 mL E-2.5g AS) fue el mejor tratamiento que se obtuvo en la encapsulación de extractos hidroalcohólicos de semilla de *Moringa oleifera*, ya que fue la que logró conservar un mayor contenido de polifenoles y flavonoides totales durante las cuatro semanas de almacenamiento.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México campus Tuxtepec, Oaxaca por facilitar las instalaciones donde se llevó a cabo este importante proyecto de investigación. Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico otorgado durante los estudios de maestría a través de la beca de maestría con número de apoyo 760017.

Referencias

- [1] A. K. Dhakad, M. Ikram, S. Sharma, S. Khan, V. V. Pandey, and A. Singh, "Biological, nutritional, and therapeutic significance of *Moringa oleifera* Lam". *Phytotherapy Research*, vol. 33, no 11, pp. 2870-2903., 2019.
- [2] P. G. Milla, R. Peñalver, and G. Nieto, "Health benefits of uses and applications of *Moringa oleifera* in bakery products". *Plants*, vol. 10, no 2, pp. 318, 2021.
- [3] J. W. Cevallos, "Optimización de la encapsulación de fitoesteroles de palma africana (*Elaeis guineensis*), con alginato de sodio como material encapsulante para su adición en yogur natural, 2019.
- [4] C. S. Cutrim, I. D. Alvim, and M. A. S. Cortez, "Microencapsulation of green tea polyphenols by ionic gelation and spray chilling methods". *Journal of food science and technology*, vol. 56, no 8, pp. 3561-3570, 2019.
- [5] A. F. López, L. Deladino and S. N Alba. Encapsulación de compuestos bioactivos con alginatos para la industria de alimentos. *limentech*, Ciencia y Tecnología Alimentaria, vol. 10, no 1, 2011.
- [6] J. D. J. Pérez, "Evaluación de la actividad hipoglucemiante de extractos hidroalcohólicos de semilla de *Moringa oleifera* en un modelo murino", tesis de maestría en ciencias en alimentos, Tecnológico Nacional de México, Tuxtepec, Oax., 2020.
- [7] C. O. Perera, and M. A. J. Alzahrani. "Ultrasound as a pre-treatment for extraction of bioactive compounds and food safety": A review. *LWT*, vol. 142, 2021.
- [8] A. Menin, F. Zanoni, M. Vakarelova, R. Chignola, G. Doná, C. Rizzi and G. Zoccatelli, Effects of microencapsulation by ionic gelation on the oxidative stability of flaxseed oil". *Food Chemistry* vol. 269, pp. 293-299, 2018.
- [9] J. Salas, "Encapsulación del ácido ascórbico y compuestos fenólicos del extracto de tumbo serrano (*Passiflora mollissima* HBK) en alginato de sodio mediante gelificación iónica." , 2019.

COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE EXTRACCIÓN Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE RAÍZ DE *Ibervillea sonorae*.

Paula Noreyma Balderas-Sánchez¹, Karla Cano-López^{1*}, Erasmo Herman-Lara¹, Ernestina Paz-Gamboa¹,
Cecilia Eugenia Martínez-Sánchez¹,
¹Tecnológico Nacional de México campus Tuxtepec.
cecilia.ms@tuxtepec.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería química

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue comparar el contenido de polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante de la raíz de *Ibervillea sonorae* proveniente del estado de Sonora. La extracción se realizó por dos distintos métodos, el primero fue una combinación de maceración en frío y sonicado, y el segundo método fue el sonicado, ambos fueron preparados en proporción de etanol: agua (70:30). A la muestra se le determinó el contenido de humedad obteniendo 8.40%. En la evaluación de compuestos bioactivos, se obtuvo un valor de 27.25 mgEAG/g extracto de polifenoles y 41.51 mg EQ/ g extracto en flavonoides totales en la muestra macerada-sonicada y de 32.05 mgEAG/g extracto y de 30.77 mg EQ/ g extracto en la muestra sonicada. En la capacidad antioxidante (ABTS* y DPPH) se obtuvieron porcentajes de inhibición mayores a 20% en la muestra macerada-sonicada, lo cual indica que el extracto de raíz de *Ibervillea sonorae* proporciona esta propiedad biológica.

Palabras clave: extracto, raíz, *Ibervillea sonorae*, maceración, sonicado

Abstract

The objective of this study was to compare the polyphenols and flavonoids content and antioxidant activity of the root of *Ibervillea sonorae* from Sonora state. The extraction was carried out by two different methods, the first was a combination of cold maceration and sonicated, and the second method was sonicated, both were prepared in ethanol:water ratio (70:30). The moisture content was determined to the sample, obtaining 8.40%. In the evaluation of bioactive compounds, a value of 27.25 mgEAG/g polyphenols extract, and 41.51 mg EQ/ g total flavonoids extract was obtained in the macerated-sonicated sample and 32.05 mgEAG/g extract and 30.77 mg EQ/ g extract in the sonicated sample. In the antioxidant capacity (ABTS* and DPPH), inhibition percentages greater than 20% were obtained in the macerated-sonicated sample, which indicates that the root extract of *Ibervillea sonorae* provides this biological property.

Key words: Extract, root, *Ibervillea sonorae*, maceration, sonicated

Introducción

La *Diabetes mellitus* es una enfermedad que afecta a millones de personas en todo el mundo desde niños hasta ancianos, es decir, sin distinción de edad y cada vez va en aumento. El consumo de dietas altas en grasas saturadas y fructosa altera el metabolismo de la glucosa, promoviendo la resistencia a la insulina y a la esteatosis hepática al aumentar los niveles de triglicéridos, generando una sobre nutrición en el que se corre el riesgo de desarrollar alteraciones metabólicas. [1]. Esta enfermedad es un problema grave para la salud de las personas puesto que las personas con diabetes tienen un mayor riesgo de padecer otras enfermedades como el corazón, obesidad, cataratas, disfunción eréctil, enfermedad arterial periférica y cerebrovascular, enfermedad del hígado graso no alcohólico. También corren el riesgo de contraer algunas enfermedades infecciosas, como la tuberculosis. La *Diabetes mellitus* describe un grupo de trastornos metabólicos caracterizados e identificados por la presencia de hiperglucemia en ausencia de tratamiento. La *Diabetes mellitus* se clasifica en dos tipos principales: diabetes tipo 1 y diabetes tipo 2. Los efectos específicos de la diabetes son retinopatía, nefropatía y neuropatía, entre otras complicaciones. La *Diabetes mellitus* puede presentar síntomas característicos como sed, poliuria, visión borrosa y pérdida de peso. [2] *Ibervillea sonorae* es comúnmente conocida como wereque o wereke, es una planta cucurbitácea dioica perenne distribuida en México en los estados de Sonora, Sinaloa y Baja California Sur, en Estados Unidos en los estados de Texas, Nuevo México y Arizona, de manera dispersa en zonas áridas. [3] Es empleada como medicina tradicional por los nativos del noroeste de México para combatir

diferentes padecimientos. Ha sido utilizada para tratar la *Diabetes mellitus* tipo 2 y es considerada una especie poco estudiada. Existen pocos estudios en los que se busca validar el efecto farmacológico de la raíz de *Ibervillea sonora*. El efecto hipoglucémico es la principal propiedad que se atribuye a los componentes de la raíz de la planta, mismo que se cree es debida a moléculas hidrosolubles que estimulan la captación de glucosa en pre-adipositos mediante una vía independiente del fosfatidilinositol 3 kinasa y sin efectos pro-adipogénicos. [4] existen varios factores que contribuyen a un control glucémico deficiente, como la falta de atención integrada en muchos sistemas de atención sanitaria, la inercia clínica de los proveedores de atención sanitaria y la escasa adherencia de los pacientes a las recomendaciones de autocuidado. [5] Es por ello por lo que se deben buscar alternativas más eficaces para los pacientes, buscando comprender, como remedios vegetales como lo es *Ibervillea sonora* pueden ayudar a enfermos diabéticos. *Ibervillea sonora* tiene capacidad de inducción hipoglucémica, anti-diabetes, anti proliferativa y apoptótica. [6]

Metodología

Materiales

Las raíces de *Ibervillea sonora* fueron adquiridas comercialmente en el Mercado Sonora de la Ciudad de México. Se limpiaron y se seleccionaron de forma manual las que no presentaron algún daño físico. Los reactivos que se utilizaron fueron de grado reactivo o HPLC y fueron adquiridos de diferentes proveedores.

Determinación de humedad

El contenido de humedad se determinó por triplicado de acuerdo con el método establecido por la AOAC en el 2005 [7]. Se pesaron las charolas vacías y se le añadió 3 g de muestra a cada charola, y se pesó con muestra. Se colocaron en una estufa a 110 °C durante 24 h. Transcurrido el tiempo se pesó nuevamente la charola con la muestra después de secar. La humedad fue calculada utilizando la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{M1 - M2}{M1} * 100$$

Donde:

%H: contenido de humedad

M1: peso de la muestra húmeda (g)

M2: peso de la muestra seca (g)

Obtención del polvo de raíces de *Ibervillea sonora*

Las raíces seleccionadas fueron secadas a 60 °C en un horno (RIOSSA, E-41. México) durante 24 h para eliminar el contenido de humedad. Posteriormente se molieron utilizando un molino universal M20. El tamaño de partícula se ajustó a un tamiz de malla N° 30 (0.59 mm). El polvo tamizado se utilizó para obtener extractos hidroalcohólicos. La determinación se realizó por triplicado siguiendo el método de humedad (925.10) establecido por la AOAC (2005) [7].

Extracción por maceración y sonicado de los compuestos bioactivos

La extracción de los compuestos bioactivos se llevó a cabo en un baño ultrasónico (Elmasonic P D-78224 Singed/Htw. Germany) con una frecuencia de 80 kHz y una potencia de 100%. Las mezclas obtenidas se almacenaron con el polvo de la raíz de *Ibervillea sonora* en tubos falcon y se sometieron a refrigeración a una temperatura de 8 °C durante 24 h. Posteriormente se filtraron al vacío para eliminar el polvo, se rotaevaporó para eliminar el solvente (etanol) dejando el extracto acuoso, el cual fue analizado inmediatamente.

Extracción asistida por ultrasonidos de los compuestos bioactivos

La extracción de los compuestos bioactivos se llevó a cabo en un baño ultrasónico (Elmasonic P D-78224 Singed/Htw. Germany) con una frecuencia de 80 kHz y una potencia de 100%. Las mezclas obtenidas se filtraron al vacío para desechar el polvo de la raíz de *Ibervillea sonora* eliminándose el solvente (Etanol) con ayuda de un rotaevaporador (Buchi Labortechnik, AG 9230, Flawil/Switzerland). Posteriormente se almacenaron en tubos falcon bajo refrigeración a una temperatura de 8 °C para posteriormente ser analizados.

Evaluación del contenido de Compuestos Bioactivos

Cuantificación de polifenoles totales (CPT)

El contenido de polifenoles totales en los extractos se determinó por el método de Folin-Ciocalteu modificado por Singleton y Rossi en 1965 [8] Cada muestra se analizó por triplicado preparando un blanco de reactivos. Las muestras de extracto se disolvieron para tener una concentración entre 1-2.5 mg/mL. La curva de calibración se llevó a cabo con ácido gálico con diferentes concentraciones: 0.7, 0.6, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1 y 0.05 mg/mL. Los resultados se reportaron como mg equivalentes de ácido gálico/g de extracto.

Quantificación de Flavonoides totales (CFT)

El contenido de flavonoides totales se llevó a cabo por el método descrito por Liu & Zhu, en 2002 [9]. A cada una de las muestras o estándares se adicionaron 1250 μ L agua desionizada, 75 μ L de NaNO_2 al 5% y se dejaron reposar durante 6 min, posteriormente se adicionaron 150 μ L de AlCl_3 al 10% y se dejó reposar durante 5 min. Después se adicionaron 500 μ L de NaOH 1M y se completó la disolución a 2.5 mL con agua desionizada. Las muestras fueron leídas 510 nm después de 30 min de incubación. La curva de calibración se preparó con quercetina como estándar a diferentes concentraciones (50, 100, 150, 200 y 250 g/mL). Los resultados se reportaron como mg equivalentes de quercetina/g de extracto.

Evaluación de la capacidad antioxidante de extractos

Método del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH*)

Se pesaron 2.4 mg del radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH*) y se aforó a 100 mL con metanol. Se prepararon las muestras tomando como inicio 10000 ppm; se hicieron diluciones a 5000, 2500, 1000, 500, 250, 50 y 25 ppm. Posteriormente en tubos eppendorf forrados con aluminio se adicionaron 975 μ L de DPPH* y 25 μ L de muestra, se dejaron reposar durante 15 min en total oscuridad. Las muestras fueron leídas en un espectrofotómetro Cary 60 UV-Vis (Agilent Technologies, Santa Clara, California, EUA) a 515 nm de acuerdo con Braca en 2002. [10], La capacidad antirradicalaria fue calculada utilizando la siguiente ecuación:

$$\%DPPH^+ = \frac{Ac - Am}{Ac} \times 100$$

Donde:

%DPPH+: Actividad antirradicalaria

Ac: absorbancia control

Am: absorbancia de la muestra

Método del radical 2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS*)

Se empleó el método descrito por Re et al. en 1999 [11], en el cual se pesaron 77.6 mg de reactivo ABTS* y se adicionaron 20 mL de agua destilada para obtener una concentración de 7 mM en solución acuosa. Posteriormente se pesaron 13.2 mg de persulfato de potasio (2.45 mM) y se hicieron reaccionar en un frasco ámbar con la solución de ABTS*. Se homogenizaron y cubrieron con papel aluminio; para incubarlas entre 12-16 h a temperatura ambiente y en total oscuridad, considerando que el radical permanece estable hasta por 2 días cuando se mantienen estas condiciones. La solución ABTS* se diluyó en etanol absoluto hasta obtener una absorbancia inicial de 0.7 ± 0.02 a 732 nm. Posteriormente se adicionó el radical ABTS* a las muestras en una relación 0.1:10 (v/v), teniendo la muestra a diferentes concentraciones (10000, 5000, 2500, 1000, 500, 250, 50 y 25 ppm). La capacidad antirradicalaria fue calculada utilizando la siguiente ecuación:

$$\%ABTS^* = \frac{Ac - Am}{Ac} \times 100$$

Donde:

%ABTS*: Actividad antirradicalaria

Ac: absorbancia control

Am: absorbancia de la muestra

Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como la media \pm desviación estándar típica. Los datos se sometieron a un análisis de la varianza (ANDEVA) de una sola vía utilizando la prueba Tukey para la determinar si existen diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre las medias de cada tratamiento, utilizando el software Statistica Versión 10.0

Resultados y discusión

Contenido de Humedad

Los resultados mostraron que la raíz de *Ibervillea sonora* contenían $8.40\% \pm 0.26$ de humedad, los cuales se pueden comparar los reportados por Sinagawa-Garcia en el 2015 [12], el cual reportó un porcentaje de humedad mayor (80.03%), esto se debe a que la muestra utilizada por este autor mencionado fue la raíz de *Ibervillea sonora* en fresco, lo cual indica que el contenido de humedad aumenta conforme a la cantidad de agua contenida en la raíz. Por otro lado, García-Aranda [13], reportó un contenido de humedad de 15.63% utilizando como materia prima raíz de *Ibervillea sonora* seca, lo cual indica que el % de humedad reportado en este proyecto es menor como el reportado por este autor.

Evaluación del contenido de polifenoles y flavonoides totales

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en la cuantificación del contenido de polifenoles y flavonoides totales. Se observa que hubo un mayor contenido de polifenoles totales en la muestra que fue macerada + sonicada, ya que se obtuvo un contenido de 41.51 mg EAG/g extracto, a diferencia de la muestra que solo fue sonicada, la cual tuvo un menor contenido de polifenoles de 30.77 mg EAG/g extracto, estos resultados no son estadísticamente significativos, ya que aunque hubo diferencias numéricas, estadísticamente no hubo diferencias.

Los resultados reportados indican que las 24 h de maceración a una temperatura de 8 °C, logró favorecer el contenido de polifenoles en el extracto. Los resultados mencionados anteriormente se pueden comparar con los reportados Núñez en el 2018 [4], el cual reportó un valor máximo de 13.29 mg EAG/g extracto y mínimo de 10.92 mg EAG/g extracto. También se pueden comparar con los valores reportados por García-Aranda en el 2013 [13], el cual reportó un valor máximo de 263.09 mg EAG/g extracto y mínimo de 210.17 mg EAG/g extracto con extractos hidroalcohólicos de raíz de *Ibervillea sonora* al 70%, lo cual indica que los resultados reportados en este proyecto se encuentran dentro del intervalo que los autores anteriormente mencionados han reportado.

Tabla 1. Contenido de polifenoles y flavonoides totales de la raíz de *Ibervillea sonora*

Muestra	TPC mg EAG/g extracto	TFC mg EQ/g extracto
Macerado + Sonicado	41.51 \pm 2.11 ^a	27.25 \pm 6.73 ^a
Sonicado	30.77 \pm 6.71 ^a	32.05 \pm 3.62 ^a

Los valores representan el promedio de 3 repeticiones \pm desviación estándar. TPC=contenido de polifenoles totales, TFC= contenido de flavonoides totales). Letra subíndice ^a entre la misma columna indican diferencia estadística significativa

El contenido de flavonoides totales se observa en la tabla 1, en el cual se presentan los resultados obtenidos en la cuantificación de flavonoides totales. En la tabla también se observa que la muestra que solo fue sonicada, presentó un mayor contenido de flavonoides totales, el cual fue de 32.05 mg EQ/g extracto y en la muestra macerada + sonicada fue menor (27.25 mg EQ/g extracto) sin embargo, los resultados mencionados no son estadísticamente significativos, aunque sus valores numéricos sean menores.

Estos resultados se pueden comparar con los reportados por Núñez en el 2018 [4], en su trabajo experimental, en el cual mencionan que obtuvieron valores máximos de 1.88 mg EQ/g extracto y mínimos de 1.02 mg EQ/g extracto, lo cual indica que en este proyecto los valores reportados son mayores, esto se debe al método de extracción utilizado en este proyecto, ya que las condiciones utilizadas por la sonicación y la maceración + sonicado, pudieron favorecer la extracción de este tipo de compuestos. También se puede deber al tipo de solvente utilizado para la extracción, ya que este tipo de compuesto bioactivos pueden tener una mayor afinidad con la mezcla de etanol-agua que, con el metanol, es decir, existe una alta polaridad de estos compuestos con los extractos etanólicos.

Los valores reportados en el contenido de flavonoides totales también se pueden comparar con los reportados por García-Aranda en el 2013 [13], el cual tuvo un contenido máximo de 45.54 mg ECAT/g extracto y mínimo de 35.26 mg ECAT/g extracto en extractos hidroalcohólicos de raíz de *Ibervillea sonora* al 70%. Esto se debe a que el método de extracción utilizado fue la maceración por un tiempo de seis días en donde este compuesto bioactivo

tuvo un mayor tiempo para poder ser extraído de la materia prima utilizada y concentrarse mayormente en el extracto.

Método del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH*)

Se llevó a cabo la evaluación de la capacidad antioxidante del radical DPPH* en diferentes concentraciones de los extractos, las cuales fueron de 10000 a 500 partes por millón (ppm).

Los resultados obtenidos en la determinación de la actividad antioxidante por el método DPPH*, se muestran en la figura 1, en donde se observa que hubo una mayor inhibición del radical DPPH* en la muestra macerada + sonicada, la cual fue de $22.47\% \pm 3.84$ a 500 ppm como se observa en la figura 1, esto puede deberse principalmente a las condiciones de extracción utilizadas, como por ejemplo el equipo de ultrasonido utilizado y el tiempo que se mantuvo la muestra en extracción. La muestra sonicada tuvo una menor inhibición del radical DPPH* ($13.64\% \pm 0.74$) a 2500 ppm, esto puede deberse a que durante el tiempo de la extracción los compuestos responsables de esta actividad pudieron perderse durante este proceso, en el caso de la muestra macerada, la maceración por 24 h a 8°C pudo favorecer a los compuestos bioactivos presentes y así proporcionarle una mayor inhibición del radical DPPH* al extracto hidroalcohólico de raíz de *Ibervillea sonorae*.

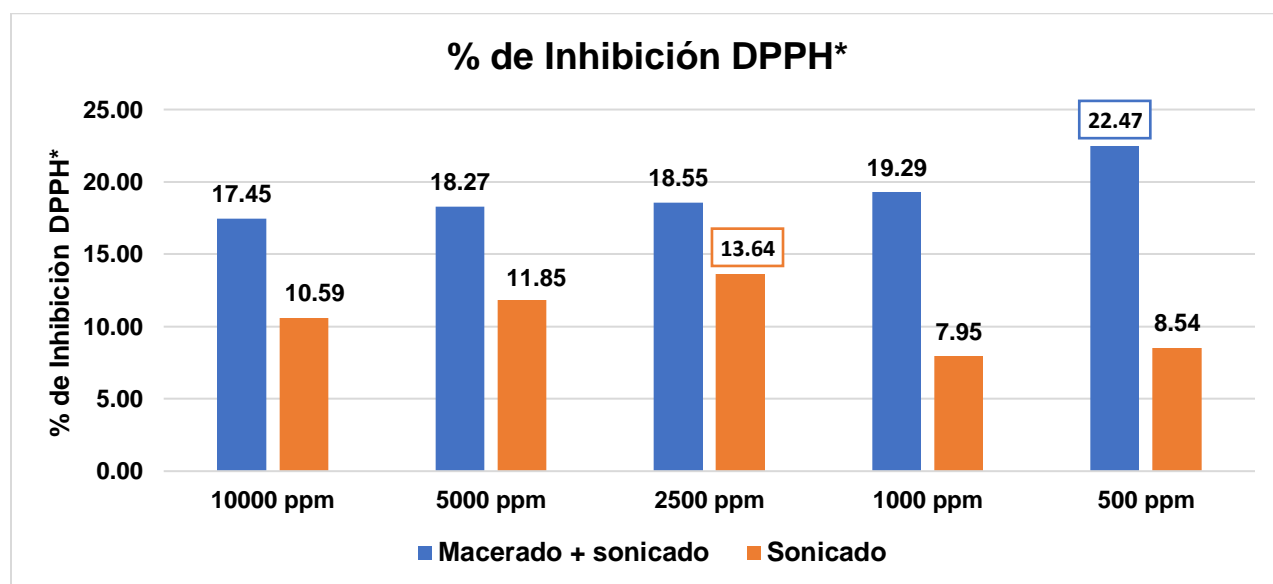


Figura 1. Capacidad antioxidante, % de inhibición de radical DPPH* en concentraciones de 10000, 5000, 2500, 1000 y 500 ppm de los extractos la raíz de *Ibervillea sonorae*

Estos resultados se pueden comparar con Núñez y colaboradores, que en el 2018 [4], reportó valores de inhibición DPPH* que van de 20.50 a 28.46%, lo cual indica que, el porcentaje de inhibición obtenido en esta investigación se encuentra dentro del intervalo reportado por el autor mencionado anteriormente.

Método del radical 2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) (ABTS*)

Se llevó a cabo la evaluación de la capacidad antioxidante del radical ABTS* en diferentes concentraciones de los extractos, las cuales fueron de 10000 a 500 partes por millón (ppm). En este estudio se obtuvo una inhibición de $29.30\% \pm 4.11$ del radical ABTS* a 500 ppm en la muestra macerada-sonicada, como se observa en la figura 2, en donde se observa un mayor porcentaje de inhibición, lo cual se debe al tipo de antioxidantes que se encuentran en la raíz de *Ibervillea sonorae* y al mecanismo de reacción, ya que el ABTS* cuya naturaleza simula una especie reactiva de oxígeno. Mientras que el DPPH* reacciona con compuestos antioxidantes los cuales reducen al radical donándole un átomo de hidrógeno.

Este mayor porcentaje de inhibición puede deberse al tipo de extracción que se llevó a cabo, ya que la muestra macerada-sonicada estuvo en mayor contacto con la muestra (polvo de raíz de *Ibervillea sonorae*), debido a que

las 24 h de maceración lograron una mayor concentración de los compuestos bioactivos responsables de proporcionarle esta actividad biológica. En cuanto a la muestra que solo fue sonicada, hubo una mayor inhibición del radical ABTS* a 2500 ppm, la cual fue de $18.28\% \pm 1.98$, sin embargo, fue menor que la muestra macerada-sonicada, lo cual se debe a que la muestra estuvo en menor contacto con la materia prima, es decir, inmediatamente de que se realizó la extracción, la muestra fue retirada y solo se lograron conservar los compuestos bioactivos que se obtuvieron en la extracción. Estos resultados se pueden comparar con Núñez y colaboradores, que en el 2018 [4], reportó valores que van de 46.15 a 67.25%, lo cual indica que, el porcentaje de inhibición obtenido en esta investigación fue menor, esto se debe al tipo de extracto y la proporción de solvente utilizada, ya que el autor mencionado que trabajó con extracto metanólico en una proporción de 80:20, lo cual indica que hubo una mayor polaridad de los compuestos bioactivos en este solvente, los cuales lograron proporcionarle una mayor inhibición del radical ABTS*

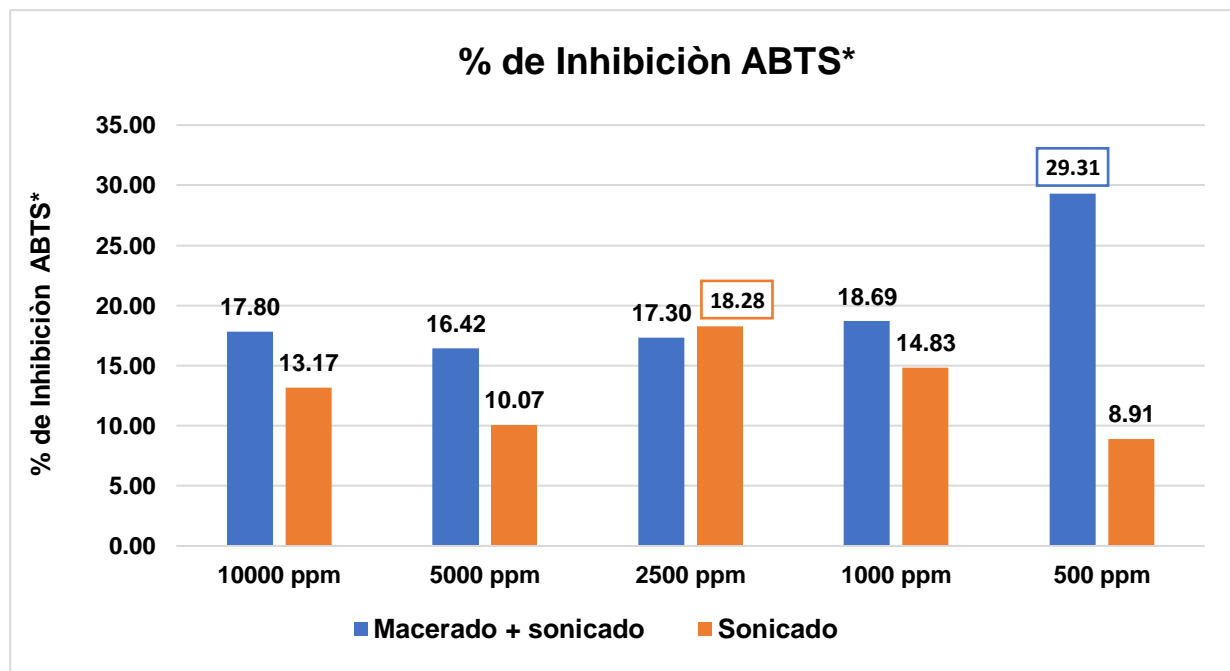


Figura 2. Capacidad antioxidante, % de inhibición de radical ABTS* en concentraciones de 10000, 5000, 2500, 1000 y 500ppm de los extractos la raíz de *Ibervillea sonorae*

Trabajo a futuro

Actividad hipoglucemiante *in vitro*.

Para realizar la cuantificación de glucosa se empleará el método enzimático-colorimétrico de la glucosa oxidasa/peroxidasa, partiendo de una solución stock de glucosa de 100 mg/dl, y de los compuestos a analizar se elaborará un stock de 10 mg/mL para poder realizar las diferentes concentraciones (100, 50, 25, 12.5) el ensayo se adapta a 1 mL total de glucosa/compuesto, una vez preparada las muestras adicionar en un tubo de reacción 10 uL de la muestra y 1000 uL del reactivo de glucosa oxidasa-peroxidasa, dejar incubar a 35 °C por 20 min. Finalmente se llevará al espectrofotómetro y se leerá a 505 nm. Todo esto se realizará por triplicado

Agradecimientos

Los Autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado para la realización del presente proyecto con clave 14828.22-P.

Conclusiones

Se determinó la humedad de la raíz de *Ibervillea sonora*, asimismo se obtuvieron extractos de la raíz de *Ibervillea sonora* por los procesos de sonicación y maceración con sonicado. Se realizó la cuantificación de polifenoles totales (TPC) y flavonoides totales (TFC) del extracto de la raíz de *Ibervillea sonora* por sus dos formas de obtención antes mencionada. No se observó diferencia significativa entre ambos tipos de extracción con respecto a los compuestos polifenólicos y flavonoides totales. De la misma forma se evaluó la actividad antioxidante por los métodos DPPH⁺ y ABTS⁺ a ambos procesos logrando obtener una mayor inhibición en la maceración con sonicado. Los resultados obtenidos evidenciaron que los extractos de raíz de *Ibervillea sonora* poseen una cantidad considerable de compuesto bioactivos que le proporcionan una buena capacidad antioxidante, gracias a esta actividad antioxidante, los extractos tienen la capacidad de transferir electrones para estabilizar los radicales libres y reducir los metales, lo que sugiere que estos tratamientos pueden ser considerados una opción para inhibir o reducir las especies reactivas del oxígeno (ABTS⁺) y del hidrógeno (DPPH⁺), asimismo, esta propiedad también permite estabilizar los radicales biológicos, que están involucrados en el desarrollo de otros procesos como inflamación o cáncer. El potencial biológico de los extractos de esta planta se atribuye a sus compuestos bioactivos.

Referencias

- [1] A. K. Castellanos Jiménez, R. Reynoso Camacho, N. E. Rocha Guzman , M. A. Corella Madueño , E. A. de los Ríos y L. M. Salgado, «El efecto de las decocciones herbales utilizadas en la medicina tradicional mexicana atenúan los efectos adversos de una dieta hipercalórica,» 30 Diciembre 2021.
- [2] O. M. d. I. Salud, “Clasificación de diabetes mellitus”, *World Health Organization*, p.p 2-38, 2019.. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/classification-of-diabetes-mellitus>.
- [3] N. L. Márquez, “*Caracterización molecular y respuestas in vitro de Ibervillea sonora* S. Wats (Greene) (Cucurbitaceae)”, Tesis (Maestría en Ciencias en Biotecnología Agrícola), Departamento de Fitotecnia, UAC, Chapingo, Estado de México, Diciembre 2017.
- [4] J. A. Núñez Gastélum, R. Hernández Rivas, J. Rodrigo García, L. A. de la Rosa, A. P. Emilio , D. S. Ángel Gabriel , O. A. Muñoz Bernal, K. Cota Ruiz y M. M. Alejandro , “*Contenido de polifenólicos, actividad antioxidante y antimicrobiana de la raíz de Ibervillea sonora*”, *Revista de ciencias biológicas y de la salud*, vol. XX, no. 3, p.p. 23-27, Febrero 2018.
- [5] A. J. Semotiuk, E. F. Hernández Romano, P. C. García Marín, L. A. Salazar Olivo y E. Ezcurra, “Los mecanismos del mito: *Ibervillea sonora* inhibe la α -glucosidasa y estimula la secreción de insulina in vit”, *Journal of Herbal Medicine*, vol. 23, p.p. 1-8, Marzo 2020.
- [6] H. Torres Moreno, J. C. López Romero , J. Y. Vázquez Solorio, C. A. Velázquez Contreras, A. Garibay Escobar, R. Díaz López y R. E. Robles Zepeda, “Propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antiproliferativas de *Ibervillea sonora*”, *South African Journal of Botany*, vol. 125, p.p. 207-213, Junio 2019.
- [7] W. Horwitz “*Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*”, Vol. 18, 481 North Frederick avenue gaitersburg, Mary Land 20877-2417, USA, AOAC INTERNATIONAL, 2006.
- [8] V.L. Singleton, A. Joseph, and Am.-J. Enol “Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents”, *American Journal of enology and viticulture*, vol. 16, p.p. 144-158, Enero 1965.
- [9] B. Liu and Y. Zhu, “ Extraction of flavonoids from flavonoid-rich parts in tartary buckwheat and identification of the main flavonoids”, *Journal of Food Engineering*, vol. 78, no. 2, p.p. 584-587, Diciembre 2005.
- [10] A. Braca, C. Sortino, M. Politi, I. Moreli and J. Mendez “ Antioxidant activity of flavonoids from *Licania licaniaeflora*”, *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 79, no. 3, p.p. 379-381, Marzo 2002.
- [11] R. Re, N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice, “Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay”, *Free Radical Biology and medicine*, vol. 26, no. 9-10, p.p. 1231-1237, Mayo 1999.
- [12] S.-R. Sinagawa, A. Gutierrez, A. Mora, M.-C. Juarez and J.-A. Torres “Características descriptivas de la Raíz de wereke (*Ibervillea sonora* greene) y generalidades bioquímicas de su extracto acuoso”. *Revista internacional de botánica experimental internacional/Journal of Experimental Botany* , vol. 84, pp. 358-367, Agosto 2014.
- [13] M.-I. García, “Identificación química y farmacológica de compuestos activos de *Ibervillea sonora*”, trabajo fin de máster, Unidad profesional interdisciplinaria de Biotecnología, IPN, Mexico , D.F, 2013.

Modelo conceptual de una cadena de suministro para elaboración de hidrochar a partir de un residuo orgánico complejo

Nadia Polet Amaro-Arcos^a, Dulce Rocío Mota-López^b, Norma Alejandra Vallejo-Cantú^a, Alejandro Alvarado-Lassman^a, Erik Samuel Rosas-Mendoza^c

^aDivisión de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9, 852. Col. Emiliano Zapata Orizaba, Veracruz C.P. 94320, México
m14011249@orizaba.tecnmx.mx

^bFacultad de Ingeniería, Campus Ixtaczoquitlán, Universidad Veracruzana, Km 1.0 Carretera Sumidero Dos Ríos Ixtaczoquitlán, Veracruz, México

^cCONACYT-Instituto Tecnológico de Orizaba Av. Oriente 9, 852. Col. Emiliano Zapata, Orizaba, Veracruz C.P. 94320, México

Área de participación: Ingeniería Química.

Resumen

Es necesario encontrar alternativas para la conversión de los residuos orgánicos complejos (ROC) debido a las situaciones ambientales del planeta, el calentamiento global, contaminación del aire, erosión del suelo etc. Estas acciones permiten valorizar esta biomasa y cubrir necesidades energéticas. Por esto el objetivo de este trabajo es plantear una propuesta de la cadena de suministro para la generación de hidrochar a partir de los ROC, en donde se identificaron tres eslabones 1) Abastecimiento: las casas habitación y el equipo de limpia publica en conjunto con la planta ECORI son los encargados de proveer los ROC, 2) Producción: abarcó desde la recepción de los ROC hasta la obtención del hidrochar y 3) Distribución: hasta que el hidrochar se entrega al cliente final. De esta manera, la comprensión del modelo conceptual de la cadena de suministro permite la implementación de estrategias que maximicen la rentabilidad del proceso.

Palabras clave: Cadena de Suministro, Residuo Orgánico Complejo, Hidrochar.

Abstract

It is necessary to find alternatives for the conversion of complex organic waste (COW) due to the environmental situations of the planet, global warming, air pollution, soil erosion, etc. These actions allow to value this biomass and cover energy needs. For this reason, the objective of this work is to propose a supply chain proposal for the generation of hydrochar from the COW, where three links were identified: 1) Supply: the houses and the public cleaning team in conjunction with the ECORI plant are in charge of providing the COW, 2) Production: ranged from receipt of the COW to obtaining the hydrochar and 3) Distribution: until the hydrochar is delivered to the end customer. In this way, understanding the conceptual model of the supply chain allows the implementation of strategies that maximize the profitability of the process.

Key words: Supply Chain, Complex Organic Waste, Hydrochar.

Introducción

En México se generan 43.84 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) al año; el estado de Veracruz genera el 6.5 % de los residuos sólidos urbanos del país con 2.86 millones de toneladas por año y el municipio de Orizaba produce 30 mil toneladas anuales [1]. Los RSU se separan en residuos inorgánicos (pet, papel, cartón, vidrio, etc.) para su reciclaje y aprovechamiento, y en residuos orgánicos (restos alimenticios, desechos de jardinería, de poda, verduras y frutas descompuestas etc.), a partir de estos se obtienen los residuos

orgánicos complejos. Los ROC se componen de la fracción orgánica de los RSU, además contienen trazas de materiales indeseables por ejemplo papel, metal, plástico, cartón etc. Debido a su variada composición la disposición final de los ROC resulta compleja.

Por otra parte, la energía es fundamental para todos los sectores de la economía de un país y su demanda está aumentando debido al incremento de la población mundial y la rápida urbanización. Las fuentes de energía históricas (carbón, petróleo y gas natural) son finitas y no son adecuadas para las necesidades de consumo de energía global [2]. En México el consumo de energía per cápita fue 61.58 GJ durante el año 2020 [3]. En la actualidad, existe una tendencia al reciclaje de residuos como el método más respetuoso con el medio ambiente no sólo para convertir residuos sino también para generar energía. Los ROC son recurso abundante, barato, renovable y si se produce de forma sostenible, puede sustituir a los combustibles fósiles para producir energía y materiales [4]. Los residuos inorgánicos pueden reciclarse en combustibles convirtiéndose en una fuente de energía renovable [5]. Los ROC pueden ser transformados para su aprovechamiento mediante procesos termoquímicos como es la carbonización hidrotérmica (CHT).

Los procesos de termoquímicos son un método para transformar la biomasa en biocombustibles [6], la conversión termoquímica se puede clasificar como CHT, pirólisis, licuefacción, gasificación y combustión directa en función de su temperatura, presión y duración del calentamiento [7]. La CHT es un proceso que ocurre a temperaturas de 180 a 250 °C en presencia de agua [8]. Durante este proceso termoquímico, el ROC se somete a hidrólisis, deshidratación, descarboxilación, condensación, polimerización y aromatización [9]. Los productos finales se pueden dividir en fase sólida (hidrochar) como producto principal, fase líquida (compuestos solubles en agua y aceites) y fase gaseosa (principalmente CO₂ con trazas de CO y CH₄) [4].

Por otro lado, una cadena de suministro permite tener un panorama completo no sólo del proceso si no de todas las partes involucradas para la obtención de un producto, servicio o bien. El concepto de cadena de suministro (CS) se refiere a la integración de entidades comerciales debido a asociaciones tecnológicas y económicas, o distribuciones temporales y espaciales [10]. La CS agrega valor desde las fuentes de recursos originales a los productos finales mientras se intercambia información sobre el mercado y producción [11]. Está compuesta por una secuencia de eslabones tales como: fabricante, proveedor, transportistas, distribuidores, almacenistas, vendedores al detalle e incluso el mismo cliente final [12], como se observa en la Figura 1. Las cadenas de suministro tienen como objetivo explotar diferentes oportunidades para productos nuevos o ya en existencia para permitir optimizar los costos y obtener una máxima utilidad, como consecuencia las necesidades de los clientes se verán satisfechas.



Figura 1. Eslabones de una cadena de suministro.

En años anteriores se realizaron trabajos de investigación en los cuales ocuparon diferentes biomásas para el proceso de CHT, ocuparon distintos estudios de factibilidad y viabilidad económica. Maqhuza *et al.* [13], evaluaron la viabilidad económica de un sistema de gestión de RSU basado en CHT, además introdujo un análisis económico probabilístico para cuantificar la incertidumbre sobre los costos. Por otra parte, Aragón-Briceño *et al.* [14], realizaron un estudio de integración de masa y energía del potencial de acoplamiento de CHT con digestión anaerobia para el tratamiento de lodos de depuradora. Se construyeron seis configuraciones de proceso propuestas utilizando lodo primario, lodo secundario y una mezcla, con el fin de evaluar la generación neta de residuos, el destino de los nutrientes, la producción neta de energía y los posibles beneficios económicos. Saha *et al.* [15], investigaron la viabilidad económica de una instalación de CHT para tratar desechos sépticos. Consideraron dos casos diferentes para el análisis económico, donde el Caso I asumió una instalación descentralizada y el Caso II asumió una instalación centralizada. También González-Arias *et al.* [16], realizaron la optimización del proceso de carbonización hidrotérmica para la conversión de la poda del olivo en biocombustible, realizó una evaluación económica-experimental combinada. A su vez, Medina-Martos *et al.* [17], analizaron una solución integral de la carbonización hidrotérmica y la digestión anaeróbica para tratar los lodos de depuradora, utilizaron un programa de simulación para realizar una análisis técnico-económico.

La presente investigación tiene por objetivo desarrollar un modelo conceptual de una cadena de suministro del proceso de carbonización hidrotérmica a partir de un residuo orgánico complejo proveniente de una planta separadora de RSU.

Metodología

Caso de estudio

Para el desarrollo del modelo conceptual de la cadena de suministro se trabajó en la ciudad de Orizaba como el lugar para llevar a cabo el estudio de CHT, debido a que cuenta con una planta que separa los residuos sólidos urbanos (ECORI), en sus fracciones orgánica e inorgánica, la que proporcionó la materia prima (ROC) para el proceso CHT. Además, existe una planta cementera, como usuario del producto, que para su proceso industrial utiliza este tipo de combustibles para sus hornos rotatorios.

En cuanto a los ROC estos son llevados a rellenos sanitarios donde se depositan para su disposición final generando gases efecto invernadero como metano y dióxido de carbono, los lixiviados son tóxicos que pueden afectar el subsuelo y los mantos freáticos. Por esto se decidió encontrar una alternativa que permita darle un uso a estos ROC, se caracterizaron para analizar su viabilidad en el proceso de CHT.

Conceptualización de la cadena de suministro

En esta etapa se busca estructurar el modelo, definir variables, interrelaciones de variables. Para esto se requiere una investigación detallada en la elaboración de diversas CS. Se utilizó la metodología propuesta por Ramos [18]. La conceptualización, permite desglosar toda la cadena de suministro y detallar los elementos específicos que influyen en la operación, así como sus relaciones particulares, uno por uno.

Se identificaron los siguientes elementos:

- Elementos operativos: Son los elementos de la cadena de suministro donde se ejecutan los procesos de transformación, es importante identificarlos y definir sus valores con el objetivo de conocer su comportamiento en los procesos productivos.
- Movimiento físico de material: Relaciona elementos donde hay movimiento real y físico de producto, es importante identificar este tipo de relaciones porque aquí es donde se pueden definir los tiempos de espera y transporte en el modelo de simulación, además permite conocer la estructura del proceso de transformación dentro de la empresa.

Específicamente, para el eslabón de producción se realizaron los siguientes puntos para comprender todo el proceso de la CHT.

- 1) Los equipos a nivel industrial para la carbonización hidrotérmica se analizaron de acuerdo con una revisión bibliográfica.
- 2) Se procedió a ordenar las actividades tomando en cuenta la información disponible.
- 3) Se seleccionó el inicio y fin del proceso de carbonización hidrotérmica.
- 4) Todos los pasos anteriores se hicieron de forma iterativa para permitir una información detallada y adecuada.

Preparación de diagrama preliminar de bucle causal

Para la construcción del diagrama de bucle causal se siguieron cuatro pasos principales, de acuerdo con Hernández-Palagot [19]. La construcción del diagrama de bucle causal se realizó en el programa Vensim PLE 9.2.0:

- Crear los nombres de las variables: De acuerdo con la información recopilada durante la revisión bibliográfica, se creó una lista de variables.
- Identificar los enlaces: Se determinó la forma en la que una variable afecta a otra u otras, colocando líneas de unión y la polaridad de cada una de las relaciones entre variables. Se cuidó, especialmente, que cada uno de los enlaces explicara una parte del fenómeno representado en el diagrama y que ninguna de las variables contuviera causalidades redundantes.
- Etiquetar el bucle: Se identificó cuál naturaleza de cada bucle, si era de refuerzo o de balance.
- Descripción del bucle: Se describió cada bucle de retroalimentación.

Caracterización del residuo orgánico complejo

Los ROC fueron recolectados de la planta separadora de residuos sólidos ECORI ubicada en la colonia Donato Guerra, municipio de Orizaba, Veracruz. Esta actividad se realizó en los días de mayor recolección de residuos orgánicos. Se utilizaron recipientes con capacidad de 20 litros para el transporte de los ROC al Instituto Tecnológico de Orizaba. Para la obtención de la muestra representativa de los ROC se llevó a cabo la metodología descrita en la NORMA MEXICANA NMX-AA-15-1985, para su posterior análisis en laboratorio. La caracterización del ROC se realizó por triplicado mediante las determinaciones analíticas que se mencionan en la Tabla 1.

Tabla 1. Determinaciones analíticas.

Parámetro	Método	Equipo
pH	Potenciómetro 4500-H+ B Standard Methods	Potenciómetro OAKTON
Humedad	Método gravimétrico 2540 B SM Standard Methods	Estufa Riossa
Cenizas	Método gravimétrico 2540 E SM	Mufla 1300 Furnace
Sólidos Totales	Método gravimétrico 2540 B SM Standard Methods	Estufa Riossa
Sólidos Volátiles	Método gravimétrico 2540 E SM	Mufla 1300 Furnace

Determinación de pH

Para la determinación de pH, se pesaron 10 g del ROC en un vaso de precipitado de 100 mL, al vaso se agregaron 20 mL de agua tridestilada y se mezcló con ayuda de un agitador magnético durante 30 minutos. Se dejó reposar 15 minutos y se realizó la lectura con el electrodo del Potenciómetro OAKTON, se esperó unos segundos para su estabilización y finalmente se leyó el valor de pH en la pantalla.

Determinación de humedad

Para la determinación de humedad, se empleó el método gravimétrico, se pesó 5 gr de la muestra de ROC (P) en un crisol con una balanza OHAUS, y en después se introdujo la muestra en una Estufa Riossa a temperatura de 110 °C durante 24 horas. Pasado este tiempo la muestra se pesó nuevamente para obtener su peso constante (P'). Con ayuda de la Ecuación (1) se determinó el porcentaje humedad.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P}{P'} * 100 \quad (1)$$

Donde:

P = Masa de agua (g)

P' = Masa de la muestra (g)

Determinación de cenizas

El porcentaje de cenizas en base seca se calculó introduciendo la muestra de la determinación de humedad en la Mufla marca Barnstead Thermolyne 1300 Furnace a una temperatura de 550 °C una vez alcanzada se contabilizó 2 horas. La cantidad de cenizas se determinó mediante la destrucción de la materia orgánica presente en la muestra por calcinación y determinación gravimétrica del residuo. Se expresa en porcentaje (g/100 g de muestra) y se obtuvo mediante la Ecuación (2):

$$\% C = \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} * 100 \quad (2)$$

Donde:

C = Porcentaje de cenizas en base seca (%)

P_1 = Peso del crisol vacío (g)

P_2 = Peso del crisol más la muestra seca (g)

P_3 = Peso del crisol más la muestra calcinada (g)

Determinación de Sólidos Totales

Para la determinación de sólidos totales, se pesó un crisol previamente sometido al método de peso constante, se registró su peso. Posteriormente se añadió una muestra del ROC y se anotó su peso. Después se metió el crisol a la estufa durante 24 horas a 105 °C. Transcurrido el tiempo, se sacó el crisol y se registró su peso. La cantidad de sólidos totales se determinó mediante la Ecuación (3):

$$\% ST = \frac{P_3 - P_1}{P_2} * 100 \quad (3)$$

Donde:

ST = Porcentaje de sólidos totales (%)

P_1 = Peso del crisol vacío (g)

P_2 = Peso de la muestra (g)

P_3 = Peso del crisol más la muestra seca (g)

Determinación de Sólidos Volátiles

Para la determinación de sólidos volátiles, se introduce a la mufla durante 2 horas a 550 °C la muestra final que previamente fue obtenida en la determinación de sólidos totales. Una vez transcurrido el tiempo, se pesó la muestra calcinada y se registró su peso. La cantidad de sólidos volátiles se determinó mediante la Ecuación (4):

$$\% SV = \frac{P_3 - P_4}{P_3 - P_1} * 100 \quad (4)$$

Donde:

SV = Porcentaje de sólidos volátiles (%)

P_1 = Peso del crisol vacío (g)

P_2 = Peso de la muestra (g)

P_3 = Peso del crisol más la muestra seca (g)

P_4 = Peso del crisol más la muestra calcinada (g)

Resultados y discusión

Se realizó un análisis de los actores y eslabones involucrados en la cadena de suministro para la producción del hidrochar, se identificaron 3 eslabones el primero 1) Abastecimiento, 2) Producción y por último 3) Distribución que se puede observar en la Figura 2.

En abastecimiento se encontró que las casas habitación a partir de los habitantes generan los RSU, en Orizaba según el SIEGVER hay 127,145 habitantes lo que equivale al 1.53 % de la población a nivel estatal con un número aproximado de 37,407 casas habitadas. Posteriormente, se involucra la dependencia de limpia pública del municipio de Orizaba que regula el servicio de recolección, traslado y disposición final de los residuos sólidos urbanos que dispone de 15 camiones recolectores de basura, trabajan en tres turnos matutino de 6:00-15:00 h, vespertino de 15:00-22:30 h y nocturno de 22:30-6:00 h en un horario de lunes a sábado. Estos RSU son llevados por los camiones recolectores a la planta de ECORI, la planta separa los residuos en sus componentes orgánicos e inorgánicos, los componentes orgánicos separados pero que contienen materiales trazas son llamados ROC.

A su vez, los residuos inorgánicos valorizables se venden y/o se destinan para reciclaje, los que no, son llevados a una planta cementera donde se emplean para su proceso e incineración donde ocupan estopa, guantes, trapos, papel, plástico, hule, llantas, tierras, lodos, aceites, grasas, filtros, aserrín, y solventes. Además, los residuos inorgánicos separados reemplazan a los materiales minerales primarios (como piedra caliza, arcilla o hierro) y la parte combustible proporciona la energía necesaria para la producción de clínker [20].

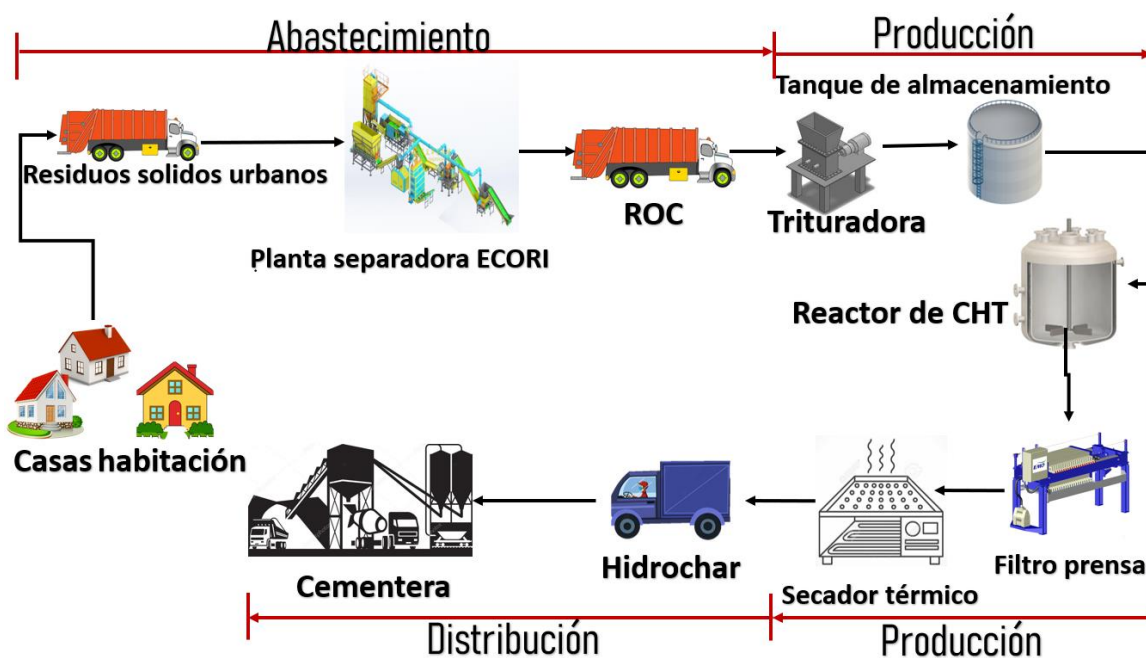


Figura 2. Propuesta de la cadena de suministro para la producción de hidrochar.

Para la producción, se plantea que los ROC sean transportados a una planta de carbonización hidrotérmica donde, los ROC llegarán al área de recepción posteriormente serán movidos por un cargador frontal a la tolva trituradora donde se llevarán a un tanque de almacenamiento para llegar al reactor de CHT, el cual tiene como aditamentos un intercambiador de calor para aprovechar la energía térmica del proceso, una vez que termina la CHT se precipita el agua y el carbón pasa por un filtro prensa que con ayuda de una banda transportadora será llevado a un secador térmico. Por último, en distribución el hidrochar será llevado al usuario final que se prevé sea una industria cementera en donde utilizan este tipo de combustible en sus hornos rotatorios donde deben alcanzar temperaturas de 1,350 a 1,450 °C.

Se obtuvo un diagrama causal para observar posibles causas y efectos entre las variables a lo largo de toda la CS que se puede observar en la Figura 3. En este sentido, los bucles que describen la dinámica del sistema de la CS se pueden proponer de la siguiente manera:

B1: Cuando los residuos inorgánicos incrementen el aprovechamiento de estos residuos aumentará. Así mismo, cuando el aprovechamiento de los residuos inorgánicos incremente la disponibilidad de residuos inorgánicos disminuirá.

B2: Si la separación de los RSU incrementa los residuos inorgánicos incrementarán por consiguiente el aprovechamiento de los residuos inorgánicos aumentará. A su vez un mayor aprovechamiento de residuos inorgánicos permitirá una disminución en los residuos dispuestos a rellenos sanitarios. Mientras que mayor sean los residuos dispuestos en los rellenos sanitarios, la capacidad disponible de estos decrementará.

B3: Si la producción de hidrochar incrementa, los residuos dispuestos en rellenos sanitarios decrementarán. Por otra parte, si los residuos dispuestos en rellenos sanitarios incrementan, la capacidad disponible de rellenos sanitarios disminuirá. Por consiguiente, si la capacidad disponible de rellenos disminuye será necesario aumentar la capacidad de separación de la planta. Así mismo, si la separación de RSU incrementa los residuos orgánicos complejos aumentará lo que incrementará la producción de hidrochar.

B4: Cuando el ROC incrementa la producción de hidrochar aumentará. A su vez, cuando la producción de hidrochar incrementa los ROC disminuirán.

B5: Cuando la producción de hidrochar incrementa la cantidad de hidrochar disponible aumenta. Cuando hay suficiente hidrochar disponible (stock), la producción de hidrochar deberá decrementar.

B6: Si el hidrochar disponible aumenta, la distribución de hidrochar aumentará. Cuando la distribución incrementa, el hidrochar disponible disminuirá.

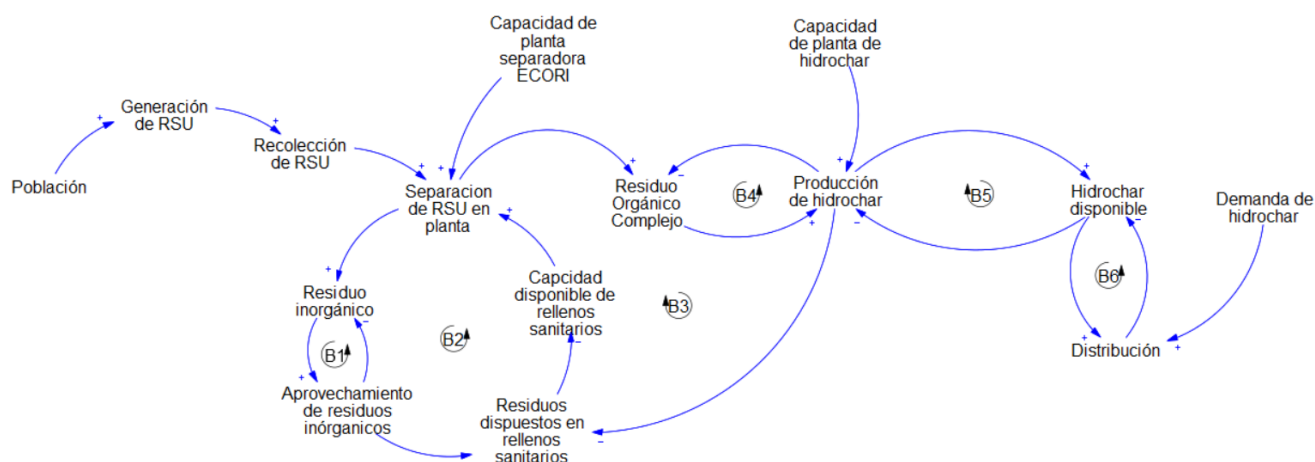


Figura 3. Diagrama causal de la propuesta de CS para la producción de hidrochar.

Caracterización del residuo orgánico complejo

Los resultados de la caracterización fisicoquímica del ROC se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización del residuo orgánico complejo.

pH	Humedad (%)	Cenizas (%)	ST (%)	SV (%)
6.01 ± 0.18	61.78± 0.92	53.24 ± 1.26	38.21 ± 0.92	46.75 ± 1.26

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, se puede observar que el valor de pH es de 6.01, por debajo del valor encontrado por Soobhany [21] que fue de 7.1, utilizó la parte orgánica de residuos sólidos municipales. Por su parte, el porcentaje de humedad es de 61 % lo que muestra que para realizar el proceso de CHT será necesario la adición de agua para el proceso. El porcentaje de ST fue de 38.21 menor al reportado por Tapia-Gómez de 59.23 % [22], quien ocupó residuos sólidos orgánicos municipales. Hernández-Nazario [23] empleo la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y encontró un valor de humedad de 67.7 % este dato se encuentra cercano al reportado para el ROC. Mientras el valor de sólidos volátiles fue de 79.1 que es mayor al encontrado en esta investigación esto se atribuye a las fracciones indeseables de materiales que tiene este ROC que no son volátiles.

Trabajo a futuro

Como secuencia de este trabajo se realizará un análisis técnico-económico del proceso de la CHT para conocer su rentabilidad y factibilidad. Esto con ayuda de un criterio de valor (valor presente neto). Así mismo, se validarán las condiciones de operación de temperatura y tiempo que maximicen el poder calorífico del hidrochar.

Conclusiones

La gestión adecuada de toda la cadena de suministro permite maximizar la factibilidad del producto a lo largo de la misma. Conocer y crear acuerdos o estrategias con los actores y eslabones de la cadena de suministro para la producción de hidrochar permite aumentar la rentabilidad del proceso. Así mismo, el proceso de CHT permite valorizar residuos con una alta humedad sin necesidad de un secado previo, disminuyendo los costos energéticos en comparación con otros procesos termoquímicos. El uso de los ROC como materia prima para el proceso de CHT ayuda a disminuir los costos por disposición de residuos sólidos urbanos, además de poder crear un bioenergético y tener una economía circular.

Agradecimientos

Al CONACYT por la beca nacional 749955. Al TecNM por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación. Al COVEICYDET por su apoyo en el proyecto de investigación: Clave 15 1447.

Referencias

- [1] M. F. Hernández, «Se inaugura planta ECORI; Ayuntamiento firma convenio con Geocycle,» *El sol de Orizaba*, 20 Julio 2020.
- [2] M. N. Bardham, M. Tabassum y M. A. Islam, «Co-hydrothermal carbonization of different feedstocks to hydrochar as potential energy for the future world,» *Journal of Cleaner Production*, pp. 1-20, 2021.
- [3] SENER, «Gobierno de México,» Balance Nacional de Energía, [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia-2019>. [Último acceso: 2022].
- [4] G. Ischia, G. Guella y N. Bazzanella, «Hydrothermal carbonization of glucose: Secondary char properties, reaction pathways, and kinetics,» *Chemical Engineering Journal*, vol. 449, 2022.
- [5] K. Krysanova y A. Krylova, «Biochar characteristics produced via hydrothermal carbonization and torrefaction of peat and sawdust,» *Fuel*, vol. 328, nº 15, 2022.

- [6] J. Zhang, «The thermochemical conversion of biomass into biofuels,» *Construction, Biomedical, and other Industrial Applications*, p. 327, 2019.
- [7] P. Halder, «Recent trends and challenges of algal biofuel conversion technologies,» *Applications, Technologies and Environmental Sustainability*, p. 167, 2019.
- [8] K. O. Krysanovaa, V. M. Zaichenko y G. A. Sychev, «Effect of temperature on the hydrothermal carbonization of organic fertilizers with the production of carbon fuel,» *Solid Fuel Chemistry*, vol. 53, nº 2, pp. 105-107, 2018.
- [9] G. Yang, H. Liu y Y. Li, «Kinetics of hydrothermal carbonization of kitchen waste based on multi-component reaction mechanism,» *Full*, vol. 324, nº 15, 2022.
- [10] N. Zhou, H. Su y S. Hu, «China's lithium supply chain: Security dynamics and policy countermeasures,» *Resources Policy*, vol. 78, 2022.
- [11] N. Ishii y M. Ohba, «A supply chain analysis and design method based on the value of information,» *International symposium on process system engineering*, vol. 1591, 2018.
- [12] J. Mesa y D. Carreño, «Metodología para aplicar Lean en la gestión de la cadena de suministro,» *Espacios*, vol. 41, nº 15, p. 30, 2020.
- [13] Maqhuzu, Yoshikawa y Takahashi, «Stochastic economic analysis of coal-alternative fuel production from municipal solid wastes employing hydrothermal carbonization in Zimbabwe. Science of the Total Environment,» *Elsevier*, 2019.
- [14] Aragón-Briceño, Ross y Camargo-Valero, «Mass and energy integration study of hydrothermal carbonization with anaerobic digestion of sewage sludge.,» *Renewable Energy*, vol. 167, p. 437, 2020.
- [15] Saha, McGaughy, Davis y Reza, «Assessing hydrothermal carbonization as sustainable home sewage management for rural counties: A case study from Appalachian Ohio. Science of the Total Environment,» *Elsevier*, vol. 781, pp. 1-9, 2021.
- [16] Gonzáles-Arias, Baena-Moreno, Sánchez y Cara-Jiménez, «Optimizing hydrothermal carbonization of olive tree pruning: A techno-economic analysis based on experimental results,» *Science of the total environment*, vol. 784, pp. 1-12, 2021.
- [17] Medina-Martos, Istrate, Illamil, Gálvez-Martos y Dufour, « Techno-economic and life cycle assessment of an integrated hydrothermal carbonization system for sewage sludge,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 277, pp. 1-13, 2020.
- [18] A. J. O. RAMOS, Artist, *Diseño de cadenas de suministro en micro y pequeñas empresas en etapa de incubación, utilizando simulación*. [Art]. Universidad Nacional Autónoma de México, 2017.
- [19] L. I. H. Palagot, «Diseño de un modelo conceptual para explicar la relación causa-efecto de la toxicidad por exposición ambiental al níquel, así como para sugerir límites regulatorios razonables,» Córdoba, 2020.
- [20] Geocycle, «Geocycle,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.geocycle.com/>. [Último acceso: 24 03 2022].
- [21] N. Soobhany, «Assessing the physicochemical properties and quality parameters during composting of different organic constituents of Municipal Solid Waste,» *Elsevier*, vol. 6, nº 2, p. 1979, 2018.
- [22] Tapia-Gómez, «CODIGESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LAS,» *JEEOS*, vol. 1, nº 1, p. 71, 2017.
- [23] L. Hernández-Nazario, «Caracterización físico-química de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos del vertedero controlado en el Centro Urbano Abel Santamaría de Santiago de Cuba,» *Scielo*, vol. 38, nº 2, 2018.

Análisis exergetico de una turbina de gas regenerativa con y sin enfriamiento

María Fernanda García Lopez^{1*}, Eduardo González Peto¹, Sergio Castro Hernández¹, Alejandro Torres Aldaco¹, Raúl Lugo Leyte¹

¹ Área de Ingeniería en Recursos Energéticos, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco No. 186, Colonia Leyes de Reforma 1ª sección, 09310, Iztapalapa, Ciudad de México, México. cbi2163045156@titlani.uam.mx^{1*}

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En este trabajo se presenta el análisis exergetico de una turbina de gas regenerativa con y sin enfriamiento intermedio entre compresores; para determinar los flujos de exergía, las irreversibilidades y las eficiencias exergetica en función de las relaciones de presiones óptimas para el trabajo motor máximo, la eficiencia térmica máxima y a condiciones de operación. De los resultados obtenidos se encuentra que, el sistema de turbina de gas regenerativa sin enfriamiento intermedio tiene una eficiencia exergetica máxima de 53.46%, cuando opera a la relación de presiones óptima para la eficiencia térmica máxima. Mientras que, el sistema con enfriamiento intermedio, al operar en la misma condición, se tiene una variación del 0.26% mayor con respecto a su funcionamiento a condiciones de operación.

Palabras clave: Trabajo motor máximo, eficiencia térmica máxima, eficiencia exergetica, irreversibilidad.

Abstract

This paper presents the exergetic analysis of a regenerative gas turbine with and without intermediate cooling, in the compression process, based on the optimum pressure ratios for maximum motor work and maximum thermal efficiency; as well as, to operating conditions. From the results obtained, it can be deduced that the regenerative gas turbine system without intermediate cooling has a maximum exergetic efficiency (53.46%) when it operates at the optimum pressure ratio for maximum thermal efficiency. While, for the system with intermediate cooling, when operating in the same condition, there is a variation of 0.26% in the exergetic efficiency with respect to its operation at operating conditions.

Key words: Maximum motor work, maximum thermal efficiency, exergetic efficiency, irreversibility.

Introducción

Actualmente, una de las mayores necesidades del mundo es la energía eléctrica [1], esto ha llevado al ser humano a desarrollar sistemas de energía que puedan trabajar con diferentes fuentes de energía disponibles, como lo son: combustibles fósiles, energía solar, biomasa, fuentes de energía geotérmica, etc. [2]. Hoy en día, los combustibles fósiles siguen siendo la fuente de energía más conveniente en comparación con las ya mencionadas. Sin embargo, este tipo de fuente de energía ha sido utilizada de manera ineficiente, lo cual ha traído consigo problemas ambientales. Para un ciclo de turbina de gas común, solo el 30% de la energía contenida en el combustible se utiliza para la generación de energía eléctrica y el resto se desecha en el medio ambiente [3]. Para incrementar la eficiencia de este tipo de sistemas se han implementado diferentes técnicas, tales como la recuperación de la energía térmica que contienen los gases de escape de la turbina mediante un regenerador, implementación de múltiples cámaras de combustión, inyección de vapor, enfriamiento entre etapas de compresión y enfriamiento del aire a la entrada del compresor [4]. Así mismo, los diseñadores de sistemas de turbinas de gas han puesto su interés en la evaluación del desempeño de estos sistemas ya diseñados mediante estudios energéticos y exergeticos, con la finalidad de optimizarlos, para mejorar el uso de los combustibles fósiles. El análisis exergetico es una herramienta que estima la eficiencia, la calidad de la energía, el trabajo

disponible y las irreversibilidades en los procesos [5]. Por dichos motivos, este trabajo presenta un estudio exergético a dos configuraciones de turbina de gas regenerativa, una con enfriamiento entre etapas de compresión y otro sin enfriamiento, las cuales operan bajo tres relaciones de presiones: operación, trabajo motor máximo y eficiencia térmica máxima.

Caso de estudio

El caso de estudio son dos configuraciones de turbinas de gas regenerativas (TGR) una sin enfriamiento intermedio y otra con enfriamiento intermedio en el proceso de compresión. La Figura 1 muestra el sistema de TGR sin enfriamiento intermedio, la cual está integrada por cuatro equipos: un compresor (C), un regenerador (REG), una cámara de combustión (CC) y una turbina de gas (TG). El REG ubicado entre el C y la CC tiene la finalidad de aprovechar la energía contenida en los gases de escape (corriente 5), para disminuir el consumo de combustible del sistema. Parte de la potencia generada por la TG es suministrada al C, los cuales están acoplados por una flecha, mientras que el restante es la potencia útil del sistema. La Figura 2 describe a la turbina de gas regenerativa con enfriamiento intermedio en el proceso de compresión (TGRE), la cual a diferencia de la TGR cuenta con dos etapas de compresión una de baja (CBP) y otra de alta (CAP) presión; así como, un intercambiador de calor (IC). El IC disminuye la temperatura del aire hasta la condición de succión del CBP, con la finalidad de disminuir la potencia suministrada al proceso de compresión. Ambas configuraciones operan a las condiciones presentadas en la Tabla 1. Los diagramas exergía – entalpía de ambos sistemas se muestran en la Figuras 3 y 4.

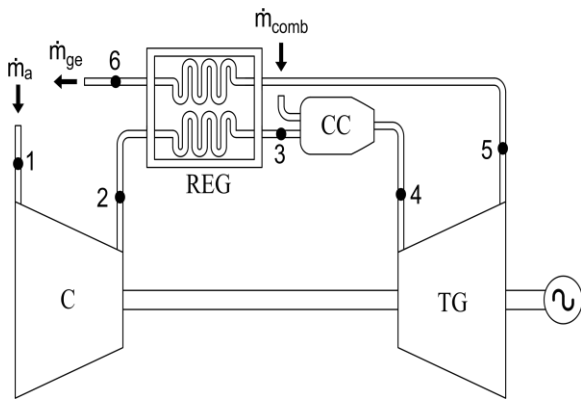


FIGURA 1. TURBINA DE GAS REGENERATIVA SIN ENFRIAMIENTO (TGR).

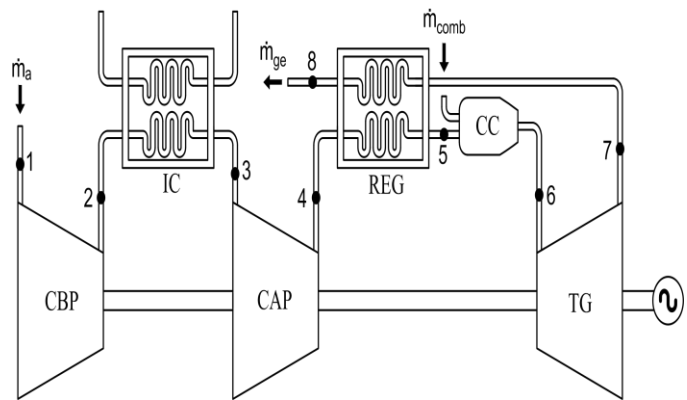


FIGURA 2. TURBINA DE GAS REGENERATIVA CON ENFRIAMIENTO (TGRE).

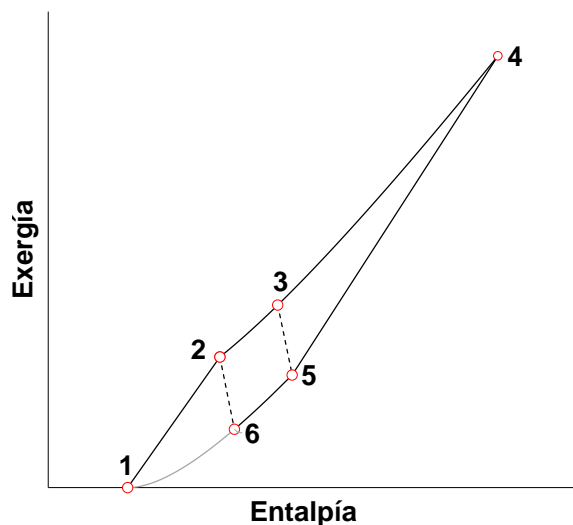


FIGURA 3. DIAGRAMA EXERGÍA – ENTALPÍA DE LA TGR.

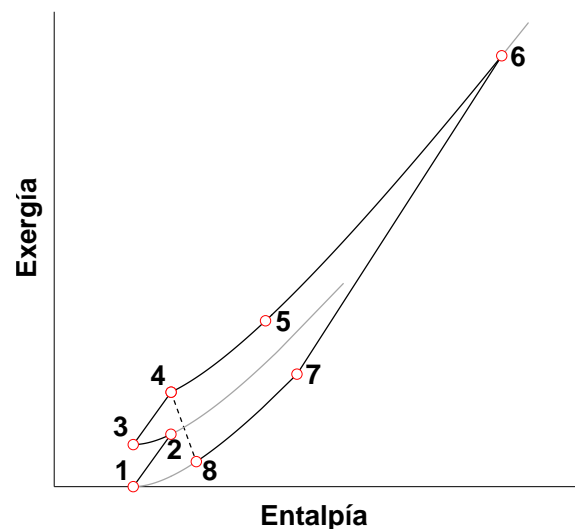


FIGURA 4. DIAGRAMA EXERGÍA – ENTALPÍA DE LA TGRE.

Tabla 1. Condiciones de operación del sistema de turbina de gas regenerativa con y sin enfriamiento intermedio.

TET (°C)	Ẇ (MW)	π _C (-)	γ (-)
1415	117	12	5.6620

Para el estudio de un ciclo de la TGR y TGRE se realizan las siguientes consideraciones:

- El fluido de trabajo se considera como gas perfecto.
- Los sistemas operan con aire estándar.
- El poder calorífico del combustible es de 44,000 kJ/kg_{comb}.
- La temperatura y presión del medio ambiente son 25 °C y 0.78 bar, respectivamente.
- Las eficiencias isoentrópicas del compresor y de la turbina son 0.89 y 0.90, respectivamente.
- La exergía cinética, potencial y química no son consideradas.
- No se consideran las caídas de presión.

Metodología

Estudio energético

Las propiedades termodinámicas de presión y temperatura en función de las eficiencias isoentrópicas del compresor y de la turbina; así como, de la eficiencia de regeneración y la relación de presiones del compresor para ambos sistemas, se determinan a partir de los modelos matemáticos presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Modelos matemáticos del sistema de turbina de gas regenerativa con y sin enfriamiento intermedio.

Estado	TGR		TGRE	
	T	P	T	P
1	T _{amb}	P _{amb}	T _{amb}	P _{amb}
2	$T_1 \left[1 + \frac{1}{\eta_{sic}} (\pi_C^x - 1) \right]$	π P ₁	$T_1 \left[1 + \frac{1}{\eta_{sic}} (\pi_{CBP}^x - 1) \right]$	π _{CBP} P ₁
3	T ₂ + η _{reg} (T ₅ - T ₂)	P ₃ = P ₂	T _{amb}	P ₃ = P ₂
4	Dato	P ₄ = P ₂	$T_3 \left[1 + \frac{1}{\eta_{sic}} (\pi_{CAP}^x - 1) \right]$	π _{CAP} P ₃
5	$T_4 \left[1 - \eta_{SIT} \left(1 - \frac{1}{\pi^x} \right) \right]$	P ₅ = P ₁	T ₄ + η _{reg} (T ₇ - T ₄)	P ₅ = P ₄
6	T ₂ + T ₅ - T ₃	P ₆ = P ₁	Dato	P ₅ = P ₄
7			$T_6 \left[1 - \eta_{SIT} \left(1 - \frac{1}{\pi_C^x} \right) \right]$	P ₇ = P ₁
8			T ₄ + T ₇ - T ₅	P ₈ = P ₁

Nota: x = (γ-1) / γ

La π_C para el sistema de TGRE es el producto de la π_{CBP} y π_{CAP}, donde π_{CBP} = π_{CAP}. Bajo esta consideración el trabajo suministrado a los compresores es mínimos.

Para determinar a las relaciones de presiones óptimas para obtener el trabajo motor máximo y la eficiencia térmica máxima de los sistemas de TGR con y sin enfriamiento intermedio, se deriva tanto el trabajo motor como a la eficiencia térmica de cada sistema.

Sistema de TGR:

Trabajo motor (w_m)

$$w_m = c_{p_a} T_1 \left[y \eta_{SIT} \left(1 - \frac{1}{\pi_C^x} \right) - \frac{1}{\eta_{SIT}} (\pi_C^x - 1) \right] \quad (1)$$

Eficiencia térmica (η_{TH})

$$\eta_{TH} = \frac{y \eta_{SIT} \left(1 - \frac{1}{\pi_C^x} \right) - \frac{1}{\eta_{SIT}} (\pi_C^x - 1)}{y \eta_{SIT} \left(1 - \frac{1}{\pi_C^x} \right) + (1 - \eta_{reg}) \left\{ y - y \eta_{SIT} \left(1 - \frac{1}{\pi_C^x} \right) - \left[1 + \frac{1}{\eta_{SIT}} (\pi_C^x - 1) \right] \right\}} \quad (2)$$

Sistema de TGRE:

Trabajo motor (w_m)

$$w_m = c_{p_a} T_1 \left[y \eta_{SIT} \left(1 - \frac{1}{\pi_C^x} \right) - \frac{2}{\eta_{SIT}} \left(\pi_C^{\frac{x}{2}} - 1 \right) \right] \quad (3)$$

Eficiencia térmica (η_{TH})

$$\eta_{TH} = \frac{y \eta_{SIT} \left(1 - \frac{1}{\pi_C^x} \right) - \frac{2}{\eta_{SIT}} \left(\pi_C^{\frac{x}{2}} - 1 \right)}{y \eta_{SIT} \left(1 - \frac{1}{\pi_C^x} \right) + (1 - \eta_{reg}) \left\{ y - y \eta_{SIT} \left(1 - \frac{1}{\pi_C^x} \right) - \left[1 + \frac{1}{\eta_{SIT}} \left(\pi_C^{\frac{x}{2}} - 1 \right) \right] \right\}} \quad (4)$$

En la Tabla 3 se presentan las relaciones de presiones óptimas para cada sistema obtenidas al derivar el w_m y la η_{TH} . Ambas relaciones de presiones para cada configuración están en función de las eficiencias isoentrópicas del compresor y de la turbina de gas, de la eficiencia de regeneración y de la relación de temperaturas $y = TET/T_1$.

Tabla 3. Relaciones de presiones óptimas para el sistema de turbina de gas regenerativa con y sin enfriamiento intermedio.

Sistema	$\pi_{w_m, \text{m}áx}$	$\pi_{\eta_{TH}, \text{m}áx}$
TGR	$(y \eta_{SIT} \eta_{SIC})^{\frac{1}{2x}}$	$(y \eta_{SIT} \eta_{SIC})^{\frac{2}{3x}}$
TGRE	$\left[\frac{y \eta_{SIT} \eta_{SIC} (1 - \eta_{TH} \eta_{REG})}{1 - \eta_{TH} (1 - \eta_{REG})} \right]^{\frac{1}{2x}}$	$\left[\frac{y \eta_{SIT} \eta_{SIC} (\eta_{TH} \eta_{REG} - 1)}{\frac{\eta_{TH}}{2} (1 - \eta_{REG}) - 1} \right]^{\frac{2}{3x}}$

Estudio exergético

La expresión para determinar el flujo de exergía física de cada corriente que ingresa y sale de cada componente de los sistemas de TGR con y sin enfriamiento es:

$$\dot{E}_i^{PH} = \dot{m}_i c_{p,i} T_0 \left[\left(\frac{T_{out}}{T_0} - 1 \right) - \ln \left(\frac{T_{out}}{T_0} \right) + x_i \ln \left(\frac{P_{out}}{P_0} \right) \right] \quad (5)$$

Donde, el subíndice i indica la corriente de materia y 0 el estado de referencia.

El flujo de exergía asociado a la potencia se expresa de la siguiente manera

$$\dot{E}^W = \dot{W} \quad (6)$$

El flujo de exergía asociada al combustible suministrado al sistema se determina mediante la siguiente expresión [6]

$$\dot{E}_{\text{comb}} = \dot{m}_{\text{comb}} \text{PCI} \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{fa}}} \right) \quad (7)$$

Para determinar el flujo de irreversibilidad, \dot{I} , asociado a cada proceso que ocurren en la generación de potencia en los sistemas de TGR con y sin enfriamiento se aplica el siguiente balance [7]

$$\dot{F} - \dot{P} = \dot{I} \quad (8)$$

donde \dot{F} y \dot{P} representan el recurso y producto de cada componente del sistema de TGR con y sin enfriamiento.

La eficiencia exergética para cada componente, y del sistema en general se determina a partir de

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{\dot{P}}{\dot{F}} \quad (9)$$

En la Tabla 4 se presentan las corrientes exergéticas asociada al \dot{F} y \dot{P} de cada elemento de los sistemas de estudio. Se tiene que, para cada configuración del sistema de TG, el recurso es el flujo de exergía asociado al combustible; y que, el producto de éstos es la potencia generada por el sistema.

Tabla 4. Corriente exergéticas asociadas al \dot{F} y \dot{P} del sistema de turbina de gas regenerativa con y sin enfriamiento intermedio.

Componente	TGR		Componente	TGRE	
	\dot{F}	\dot{P}		\dot{F}	\dot{P}
C	$\dot{E}_{\text{C}}^{\text{WC}}$	$\dot{E}_{\text{2}}^{\text{PH}} - \dot{E}_{\text{1}}^{\text{PH}}$	CBP	$\dot{E}_{\text{CBP}}^{\text{WC}}$	$\dot{E}_{\text{2}}^{\text{PH}} - \dot{E}_{\text{1}}^{\text{PH}}$
REG	$\dot{E}_{\text{5}}^{\text{PH}} - \dot{E}_{\text{6}}^{\text{PH}}$	$\dot{E}_{\text{3}}^{\text{PH}} - \dot{E}_{\text{2}}^{\text{PH}}$	IC	$\dot{E}_{\text{2}}^{\text{PH}}$	$\dot{E}_{\text{3}}^{\text{PH}}$
CC	\dot{E}_{comb}	$\dot{E}_{\text{4}}^{\text{PH}} - \dot{E}_{\text{3}}^{\text{PH}}$	CAP	$\dot{E}_{\text{CAP}}^{\text{WC}}$	$\dot{E}_{\text{4}}^{\text{PH}} - \dot{E}_{\text{3}}^{\text{PH}}$
TG	$\dot{E}_{\text{5}}^{\text{PH}} - \dot{E}_{\text{6}}^{\text{PH}}$	$\dot{E}_{\text{TG}}^{\text{WC}}$	REG	$\dot{E}_{\text{7}}^{\text{PH}} - \dot{E}_{\text{8}}^{\text{PH}}$	$\dot{E}_{\text{5}}^{\text{PH}} - \dot{E}_{\text{4}}^{\text{PH}}$
			CC	\dot{E}_{comb}	$\dot{E}_{\text{6}}^{\text{PH}} - \dot{E}_{\text{5}}^{\text{PH}}$
			TG	$\dot{E}_{\text{6}}^{\text{PH}} - \dot{E}_{\text{7}}^{\text{PH}}$	$\dot{E}_{\text{TG}}^{\text{WC}}$
Sistema	\dot{E}_{comb}	$\dot{E}_{\text{TG}}^{\text{WC}} - \dot{E}_{\text{C}}^{\text{WC}}$		\dot{E}_{comb}	$\dot{E}_{\text{TG}}^{\text{WC}} - \dot{E}_{\text{CBP}}^{\text{WC}} - \dot{E}_{\text{CAP}}^{\text{WC}}$

Resultados y discusión

La Tabla 5 presenta los valores de la presión y temperatura de los estados termodinámicos de la TGR y la TGRE, de acuerdo con los modelos presentados en la Tabla 2. Así mismo, muestra que, para el caso de TGRE la temperatura de los gases de escape es menor que la obtenida para el caso de la TGR, lo cual representa una mayor recuperación de energía térmica en el REG. Por otra parte, se muestra que la TGRE es más eficiente que la TGR en 818 %; por lo cual, este sistema al trabajar a las condiciones de operación mostradas en la Tabla 1 tiene un mejor desempeño termodinámico.

Tabla 5. Propiedades termodinámicas de temperatura y presión de los estados termodinámicos a condiciones de diseño.

Edo	TGR		TGRE	
	T (K)	P (bar)	T (K)	P (bar)
1	298.15	0.78	298.15	0.78
2	644.49	9.36	440.91	2.70
3	861.57	9.36	298.15	2.70

4	1688.15	9.36	440.91	9.36
5	915.83	0.78	820.85	9.36
6	698.76	0.78	1688.15	9.36
7			915.83	0.78
8			535.89	0.78
w_m (kJ/kg)	427.42		488.46	
q_{sum} (kJ/kg)	829.39		870.25	
η_{th} (%)	51.54		56.13	

A partir de las expresiones mostradas en la Tabla 3, los valores de las relaciones de presiones para el máximo trabajo y la máxima eficiencia térmica se presentan en la Tabla 6. Para ambos sistemas la $\pi_{w_m, \text{máx}} > \pi_{\eta_{th}, \text{máx}}$.

Tabla 6. Relaciones de presiones óptimas.

Sistema	$\pi_{w_m, \text{máx}}$	$\pi_{\eta_{th}, \text{máx}}$
TGR	14.10	6.47
TGRE	34.053	9.65

En el sistema de TGRE la π_{CBP} y la π_{CAP} tienen el mismo valor; de, 5.835 para el caso de la $\pi_{w_m, \text{máx}}$ y de 3.17 para la $\pi_{\eta_{th}, \text{máx}}$.

En la Tabla 7 aparecen los valores asociados a los flujos del recurso, producto e irreversibilidad de cada componente que integra al sistema de TGR y TGRE, a condiciones de operación. Así mismo, muestra que, el mayor recurso suministrado para la TGR y TGRE se da en la TG con valores de 224.34 MW y 196.49 MW, al igual que el mayor producto generado con valores de 212.13 MW y 185.62 MW, respectivamente. Por otra parte, el equipo con mayor generación de irreversibilidad, para ambos sistemas, es la CC con un valor de 19.69 MW y 19.17 MW respectivamente. Para los sistemas en general, el recurso suministrado y la irreversibilidad a la TGRE es 8.19 % y 20.12 % menor que para la TGR.

Tabla 7. Recurso, Producto e Irreversibilidad del sistema de turbina de gas regenerativa con y sin enfriamiento intermedio.

Equipos	TGR			Equipos	TGRE		
	\dot{F} MW	\dot{P} MW	\dot{I} MW		\dot{F} MW	\dot{P} MW	\dot{I} MW
C	95.13	90.15	4.98	CBP	34.31	31.71	2.60
REG	38.17	35.85	2.32	IC1	31.71	25.44	6.28
CC	197.26	177.57	19.69	CAP	34.31	31.71	2.60
TG	224.34	212.13	12.21	REG	53.96	46.78	7.18
				CC	181.11	161.94	19.17
				TG	196.49	185.62	10.87
TGR	197.26	117.00	80.26	TGRE	181.11	117.00	64.11

La Figura 5 muestra el flujo de irreversibilidades de los equipos que integran al sistema de TGR; así como, del sistema en general a las condiciones de diseño y a las relaciones de presiones para el máximo trabajo motor y la máxima eficiencia térmica. También muestra que, el sistema al operar a la relación de presiones para el trabajo máximo genera las mayores irreversibilidades en los equipos, tales como C, CC y TG, pero tiene una mejor recuperación de la energía térmica de los gases; por lo cual, la irreversibilidad en el REG es baja (1.46 MW); esto comparado con las otras condiciones de operación. Para el caso cuando opera a la máxima eficiencia térmica ocurre lo contrario; es decir, el C, la CC y la TG generan las menores irreversibilidades; mientras que, el REG

tiene la mayor irreversibilidad. De manera general, También se muestra que, el sistema de TGR al operar a la condición de máximo trabajo motor genera 4.93 % y 13.35 % más irreversibilidad que su operación a condiciones de diseño y máxima eficiencia térmica, respectivamente.

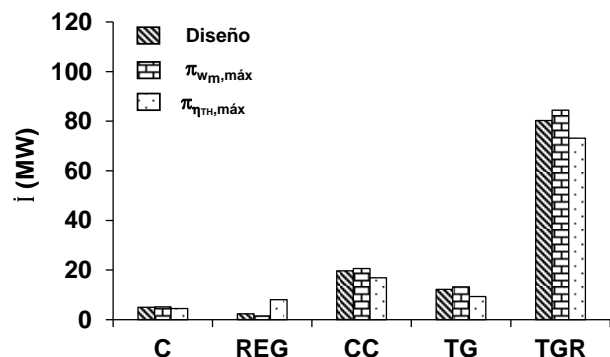


Figura 5. Irreversibilidades generadas en los procesos de la TGR para las diferentes relaciones de presiones.

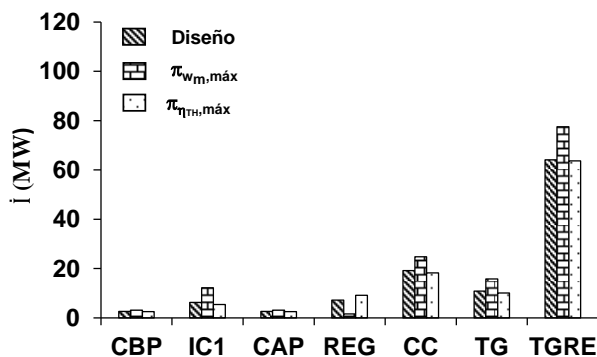


Figura 6. Irreversibilidades generadas en los procesos de la TGRE para las diferentes relaciones de presiones.

La Figura 6 exhibe el flujo de irreversibilidades de los equipos que integran al sistema de TGRE; y, del sistema en general a las condiciones de diseño y a la relación de presiones para el máximo trabajo motor y la máxima eficiencia térmica. Se muestra al igual que en el caso de la TGR, las mayores irreversibilidades son generadas cuando el sistema opera a la condición de máximo trabajo motor. Sin embargo, para este caso, la TGRE al operar a condiciones de máxima eficiencia térmica, no muestra un gran cambio en las irreversibilidades generada en comparación con su operación a condiciones de diseño.

La Figura 7 muestra a la eficiencia exergética a las diferentes condiciones de operación para los sistemas de TGR y TGRE. Así mismo, muestra que, el sistema de TGRE siempre tiene una mayor eficiencia exergética que el sistema de TGR bajo cualquier condición de operación. Por otra parte, se muestra que la eficiencia exergética de la TGRE al operar a las condiciones de máxima eficiencia térmica es mayor en 0.26 %, que a condición de operación.

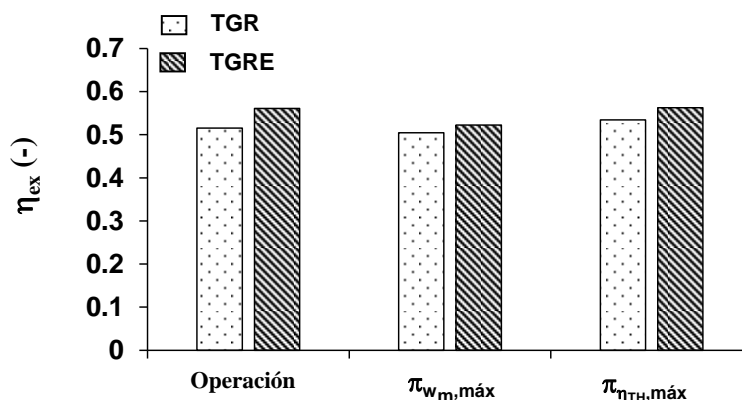


Figura 7. Eficiencia exergética del sistema TGR y TGRE para las diferentes relaciones de presiones.

Trabajo a futuro

El análisis exergético es una herramienta útil para localizar las ineficiencias dentro de un proceso de producción y realizar mejoras. Aun así, es necesario realizar un análisis de costos para tener una visualización más amplia del sistema y sus oportunidades de mejora; por lo cual, realizar un estudio exergoeconómico a estos sistemas es necesario.

Conclusiones

El estudio exergético mostró que, cuando los sistemas trabajan a condiciones de operación, el sistema de turbina de gas regenerativa con enfriamiento tiene la mayor eficiencia exergética, con un 8.19 % menor de consumo de combustible comparado con el sistema sin enfriamiento. Por otra parte, cuando los sistemas operan a condiciones de máximo trabajo motor, ambos sistemas generan las mayores irreversibilidades comparados con el punto de operación a la máxima eficiencia térmica y a condiciones de diseño; por ende, en ese punto de operación se da menor eficiencia exergética del sistema. Por lo cual, se concluye también que, la turbina de gas regenerativa sin enfriamiento al operar a la máxima eficiencia térmica tiene un mejor desempeño en comparación con su funcionamiento a condiciones de operación y máximo trabajo motor. Sin embargo, el sistema con enfriamiento intermedio no tiene un aumento significativo en la eficiencia exergética al opera a la máxima eficiencia térmica con respecto a las condiciones de operación.

Agradecimientos

Se agradece al posgrado en Ciencias en Energía y Medio Ambiente de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, el cual, pertenece al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT, por la beca recibida. De la misma manera, se agradece a la Planta Piloto 2 de la UAM I..

Referencias

- [1] S. Manigandan, A. E. Atabani, V. K. Ponnusamy, and P. Gunasekar, "Impact of additives in Jet-A fuel blends on combustion, emission and exergetic analysis using a micro-gas turbine engine," *Fuel*, 118104, pp. 276, 2020.
- [2] W. Sun, X. Yue, Y. Wang, "Exergy efficiency analysis of ORC (Organic Rankine Cycle) and ORC-based combined cycles driven by low-temperature waste heat," *Energy Convers Manag*, vol. 135, pp. 63–73, 2017
- [3] Y. Cao, Y. Dai, "Comparative analysis on off-design performance of a gas turbine and ORC combined cycle under different operation approaches," *Energy Convers Manag*, vol. 135, pp. 84–100, 2017.
- [4] R. Carapellucci, & L. Giordano, "Regenerative gas turbines and steam injection for repowering combined cycle power plants: Design and part-load performance," *Energy Conversion and Management*, 227, 113519, 2021
- [5] O. Mahian, M. R. Mirzaie, A. Kasaeian, and S. H. Mousavi, "Exergy analysis in combined heat and power systems: A review," *Energy conversion and management*, 226, 113467, 2020.
- [6] T. J. Kotas, "The exergy method of thermal plant analysis," *Paragon Publishing*, 2012.
- [7] C. Torres, & A. Valero, "The exergy cost theory revisited," *Energies*, 14(6), 1594, 2021.

Determinación simultánea de curcumina y 5-fluorouracilo mediante UV-Vis para sistemas de liberación dual de fármacos

M. A. Peregrina Loza¹, C. A. Ramírez Barragán^{2*}, J. A. Andrade Ortega², S. G. Díaz Ramos², H. J. Contreras Quiñones²

¹Licenciatura en Ingeniería Química, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Blvd. Marcelino García Barragán 1421, C.P.44430, Guadalajara, Jalisco, México.

²Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara. Carretera Guadalajara-Nogales Km. 15.5, Predio Las Agujas, C.P. 45020, Zapopan, Jalisco, México. *carlosa.ramirez@academicos.udg.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

La curcumina y el 5-fluorouracilo (5FU) son compuestos con actividades biológicas, una ellas la anticancerígena, ambos son utilizados en el tratamiento de varios tipos de cáncer. Entre los biomateriales de nueva generación para liberación de fármacos se destacan los sistemas duales, como el de curcumina y 5FU que presentan actividad sinérgica. En pruebas de liberación dual *in vitro* es necesario determinar su concentración en solución simuladora de fluido corporal (PBS), lo cual representa un gran reto, debido a sus distintas solubilidades en agua, la cantidad de otras sustancias en el medio y sus interacciones, en nuestro caso quitosana, PBS y 2-hidroxipropil- β -ciclodextrina (2HP- β CD). En este trabajo se desarrolló una metodología para determinar de forma simultánea curcumina y 5FU en solución mediante UV-Vis, en una sola lectura de absorbancia. El método permite cuantificar de 2-10 $\mu\text{g/mL}$ tanto de curcumina como de 5FU con una precisión de ± 0.04 y ± 0.21 $\mu\text{g/mL}$ respectivamente.

Palabras clave: Curcumina, 5-Fluorouracilo, UV-Vis, espectrofotometría.

Abstract

*Curcumin and 5-Fluorouracil (5FU) are compounds with biological activities, one of them anticancer, both are used against various types of cancer. Among the new generation biomaterials for drug delivery, dual systems stand out, such as curcumin and 5FU, which present synergistic activity. In *in vitro* dual release tests, it is necessary to determine its concentration in body fluid simulator solution (PBS), which constitute a great challenge, due to its different solubilities in water, the number of other substances in the solution system and their interactions, in our case chitosan, PBS and 2-hydroxypropyl- β -cyclodextrin (2HP- β CD). In this work, a methodology was developed to simultaneously determine curcumin and 5FU in solution by UV-Vis spectroscopy, in a single absorbance reading. The method allows the quantification of 2-10 $\mu\text{g/mL}$ of both curcumin and 5FU with a precision of ± 0.04 and ± 0.21 $\mu\text{g/mL}$ respectively.*

Key words: Curcumin, 5-Fluorouracil, UV-Vis, spectrophotometry.

Introducción

La curcumina es un compuesto activo que se extrae de la raíz de la cúrcuma (*Curcuma longa*), se ha utilizado en la cocina y la medicina tradicional de las culturas asiática e hindú, y actualmente se usa como especia culinaria en todo el mundo [1]. La curcumina (1,7-bis-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-1,6-heptadieno-3,5-diona) es un producto natural con estructura polifenólica (Figura 1a, 1b), cuyo estudio ha tomado mucho interés en los últimos años debido a sus actividades biológicas: antioxidante, anti-inflamatoria, anticancerígena, antibacterial, antifúngica, antiviral, citoprotector, inmunomodulador, entre otras [2]–[4]. Dentro de las aplicaciones más interesantes de la curcumina se destaca su uso contra diversos tipos de cáncer [5], [6]. Sin embargo, uno de los principales problemas para utilizar la curcumina en aplicaciones biomédicas es su inestabilidad química y pobre solubilidad en agua ($< 0.1\text{mg/mL}$), lo que se traduce en una baja biodisponibilidad para su absorción en el organismo [7], [8]. Para superar estas dificultades se han utilizado diversos métodos de formulación como nanopartículas [9], emulsiones [10], liposomas [11], encapsulamiento molecular [12], entre otros. Dentro de las matrices utilizadas para cargar y liberar la curcumina se encuentran la quitosana [12] y las ciclodextrinas [13]. Uno de los sistemas reportados en la literatura donde se han utilizado estas matrices con el fin de cargar y liberar curcumina es un

hidrogel quitosana- β -ciclodextrina, que además contiene un segundo fármaco, el 5-fluorouracilo, constituyendo un sistema de liberación dual de fármacos [14].

El 5-fluorouracilo (5FU) (Figura 1c) es un fármaco anticancerígeno ampliamente usado desde 1957 que ha tenido un rol muy importante en el tratamiento de cáncer de colon, de mama, de cabeza y cuello. El 5FU es un compuesto orgánico heterocíclico de la familia de las fluoropirimidinas, el cual interfiere con el metabolismo de nucleótidos de la timina y se puede incorporar al ADN y ARN provocando citotoxicidad y muerte celular [15].

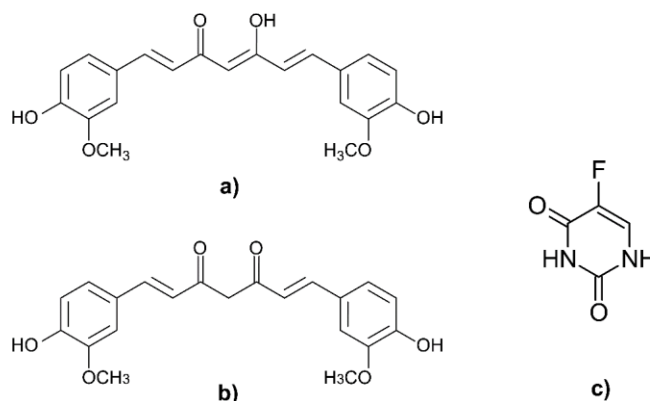


Figura 1. Estructuras químicas de curcumina a) forma *ceto*, b) forma *enol* y c) 5-fluorouracilo (5FU).

La importancia de utilizar un sistema dual de liberación de fármacos de curcumina y 5FU para usarse en el tratamiento contra tumores cancerígenos es que por un lado, cada fármaco tiene su propia ruta farmacocinética para su asimilación, y por otro, estos dos compuestos tienen entre sí un efecto sinérgico comprobado [16]–[18]. Uno de los métodos relativamente sencillos para cuantificar estos dos compuestos en solución es la espectroscopía UV-Vis, ya que la curcumina presenta una absorbancia en una longitud de onda de 431 nm [19] y el 5FU la manifiesta a 266 nm [20].

Dentro de los sistemas de liberación de fármacos, para monitorear la cinética de liberación de los compuestos en el laboratorio es necesario determinar su concentración en solución (usualmente en solución buffer de fosfato, PBS, como simulador de fluido corporal). Sin embargo, en un sistema dual como el ya descrito anteriormente donde se encuentran presentes otros componentes como ciclodextrinas y quitosana (además de las sales que componen el buffer de PBS), esto se vuelve mucho más complicado, por las posibles interferencias en las intensidades de absorción de cada compuesto, entre sí o bien con alguno de los demás componentes en la solución. Además, para complicar aún más las cosas, la curcumina forma un complejo de inclusión con las ciclodextrinas [21]–[23], este complejo afecta su intensidad de absorbancia de acuerdo a la cantidad de complejo formado y a la concentración de curcumina libre, que a su vez depende de las condiciones del medio [24].

En este trabajo se propone una metodología utilizando espectrofotometría UV-Vis, para determinar de forma simultánea curcumina y 5-fluorouracilo en solución simuladora de fluido corporal (PBS). Las pruebas de liberación de ambos fármacos se realizaron en un hidrogel de quitosana-2-hidroxipropil- β -ciclodextrina y α - β -glicerol fosfato, en ensayos *in vitro*. Los principales retos fueron lograr que mediante una sola medición de absorbancia de la solución se determinara la concentración de curcumina (a 431 nm) y de 5-fluorouracilo (a 266 nm), definir las condiciones del medio para eliminar las interferencias entre ambos componentes y entre la 2-hidroxipropil- β -ciclodextrina (2HP- β CD) que forma un complejo de inclusión con la curcumina, y que, además, no se conoce la cantidad presente en las mediciones. También, suprimir las alteraciones en la intensidad de absorbancia de ambos compuestos que provocan algunos otros componentes presentes en el medio, como el buffer de fosfato (PBS) y pequeñas cantidades de quitosana resultantes en el proceso de liberación.

Metodología

Materiales

2-hidroxipropil- β -ciclodextrina (2-HP- β CD) donada por Wacker Mexicana S.A. de C.V., CDMX, México. La quitosana (CS) con grado de desacetilación de $75\% \pm 7.5$, peso molecular promedio determinado por viscosimetría $M_v = 762 \pm 23$, el 5-fluorouracilo (5FU), la curcumina y el α - β -glicerol fosfato, fueron adquiridos de Sigma-Aldrich, Milwaukee, WI, USA. Ácido acético glacial, 99.7% y etanol absoluto fueron adquiridos de

Productos Químicos Monterrey S.A. de C.V., Monterrey, México. El resto de los reactivos empleados fueron de grado analítico o de existencias estándar.

Métodos

Todas las mediciones de absorbancia se llevaron a cabo en un espectrofotómetro marca Ocean Optics®, modelo USB4000 y las lecturas representan el promedio de lecturas por duplicado.

Determinación de curcumina en solución mediante UV-Vis

El método empleado para la determinación de curcumina fue utilizando espectroscopia UV-Visible, propuesto previamente por algunos autores [19]. Como primer paso en el conocimiento de la determinación de curcumina se preparó una solución madre de 50 µg/mL en metanol, enseguida se hicieron diluciones para preparar soluciones de 2, 4, 6, 8 y 10 µg/mL de curcumina; a estas muestras se les midió su absorbancia a 431 nm. La curva de calibración se utilizó para calcular la cantidad de curcumina presente en diversas pruebas y como punto de partida para corroborar la técnica y el equipo.

Debido a que en las pruebas de liberación de fármacos no es posible realizar las mediciones de absorbancia en metanol o etanol 100% (se toma una muestra que se encuentra en una solución buffer de fosfato, PBS) y además de que se encuentran presentes otras sustancias que pueden causar interferencias (como las propias sales del PBS) en las mediciones de la intensidad de absorbancia en la longitud de onda de estudio, se realizó una curva de calibración de curcumina de 1, 2, 3, 4 y 5 µg/mL en una mezcla de 90% etanol y 10% PBS. Esta mezcla se usó debido a que en las pruebas de liberación se toma 1 mL de solución y se analiza. Estas mediciones se realizaron con el fin de conocer si existe interferencia en la intensidad y/o en la longitud de onda máxima de absorbancia por parte de las sales presentes en el PBS.

Determinación de 5-fluorouracilo en solución mediante UV-Vis

Como primer paso se obtuvieron los espectros de absorbancia de 5FU utilizando espectroscopia UV-visible en solución acuosa, de acuerdo al método propuesto en la literatura [25]. Se preparó una solución madre de 50 µg/mL en agua bidestilada, enseguida se hicieron diluciones para preparar soluciones de 2, 4, 6, 8 y 10 µg/mL de 5-FLU; a estas muestras se les midió su absorbancia a 266 nm. La curva de calibración se utilizó para calcular la cantidad de 5-FLU presente en las pruebas de liberación *in vitro*.

Con el fin de conocer el posible efecto que tiene la presencia del PBS en la medición de 5FU en agua se obtuvieron los espectros de absorbancia para construir una curva de 2, 4, 6, 8 y 10 µg/mL con 10% de PBS y 90% agua bidestilada. Con las condiciones encontradas se determinó que los sistemas deben de contener 10% de etanol para lograr disolver la curcumina presente en las mediciones simultáneas de curcumina y 5FU. Se obtuvieron los espectros de absorbancia y se construyó una curva de calibración de 2, 4, 6, 8 y 10 µg/mL con 10% de etanol, 10% PBS y 80% agua bidestilada.

Determinación simultánea de 5-fluorouracilo y curcumina en presencia de 2-hidroxipropil-β-ciclodextrina en solución mediante UV-Vis

A partir de este punto se introdujo la 2HP-βCD, para conocer su efecto en la absorbancia y encontrar la forma de eliminarla en la lectura de la intensidad de absorbancia, debido a que en las mediciones de las pruebas de liberación no se conocerá la cantidad de ciclodextrina presente. De la literatura se conoce que la curcumina forma un complejo de inclusión con ciclodextrinas [26], y en especial con la 2HP-βCD [27], este fenómeno afecta fuertemente la intensidad de la absorbancia de la curcumina, además dicha intensidad también se ve afectada por la proporción etanol/agua en la solución. Para conocer cómo afecta la presencia de etanol en el sistema se obtuvieron los espectros de absorbancia de soluciones que contenían una cantidad fija de 5 µg/mL de curcumina, y diferentes proporciones de etanol agua: 0/100, 25/75, 50/50, 75/25 y 90/10 v/v, todas las muestras contenían además 10%, v/v de PBS. Para cuantificar las diferencias de intensidad en la absorbancia de curcumina debidas a la presencia de 2HP-βCD con respecto a la observada de la curcumina sola, se obtuvieron espectros de absorbancia de soluciones con 2.5, 5.0, 10.0 y 15.0 µg/mL de 2HP-βCD, todas las pruebas se hicieron en una solución con 80% agua, 10% PBS y 10% etanol.

Con el fin de conocer el mejor medio para realizar las mediciones simultáneas de curcumina y 5FU (mayor proporción etanol o agua), se obtuvieron los espectros de absorbancia de 5FU de 2,4,6,8, y 10 µg/mL en presencia de 5 µg/mL de curcumina y 10% de PBS en las siguientes proporciones etanol/agua, v/v: 80/20 y 10/90.

A partir de los datos anteriores ahora se estudió cómo afecta la cantidad de curcumina en la medición de la absorbancia de 5FU, para esto se obtuvieron los espectros de absorbancia de soluciones donde se mantuvo constante la cantidad de 5FU (5 µg/mL) y se varió la de curcumina de 2, 4, 6, 8 y 10 µg/mL, en todas las soluciones se mantuvieron las proporciones de 80% agua, 10% etanol, 10% PBS y 50 µg/mL de 2HP-βCD.

Con los datos obtenidos hasta este punto, se hicieron 3 curvas finales de calibración, cada curva contiene una cantidad fija de curcumina de 2, 6 y 10 µg/mL, variando en cada una de ellas la cantidad de 5FU de 2 a 10 µg/mL. Con estas curvas de calibración se midió una muestra problema de un experimento de liberación simultánea de curcumina y 5FU de un hidrogel, elaborado de acuerdo a como se describe a continuación.

Preparación del hidrogel para la prueba de liberación

El hidrogel de quitosana y αβ-glicerol fosfato (CS/αβGP) se preparó de acuerdo a la metodología previamente reportada por otros autores, con ligeras modificaciones [28]. Se disolvieron 2.4 g de quitosana en 100 mL de ácido acético 1.0% (v/v), a una cantidad de esta solución se agregó gota a gota y en agitación constante una solución de αβ-glicerol fosfato al 50% (w/v), ambas soluciones fueron previamente colocadas en un baño frío con hielo y mantenidas entre 5-10 °C durante el proceso de mezclado. Para la formulación de hidrogel la solución se preparó con 3.5 mL de CS 2.4% (w/v) + 1.050 mL de αβGP 50% (w/v) + 0.0817 g de HPβCD + 0.01274 g de 5FU + 0.0188 g de curcumina. La proporción quitosana: 2HP-βCD fue de 1:1, w/w. Después de haber obtenido una solución homogénea se colocó en un envase de forma cilíndrica y se sumergió en un baño de agua a 37 °C para obtener el hidrogel. Una vez obtenido el hidrogel se colocó en un frasco con tapa de 50 mL con 25 mL de solución buffer de fosfato (PBS) y se mantuvo a 37 ±0.2 °C en un baño de agua, transcurridas 24 horas se tomó una muestra y se analizó con el método propuesto.

Preparación de la solución buffer (PBS) de pH 7.2

La solución buffer de fosfato (PBS) de pH 7.2 se preparó de la siguiente manera: Se mezclaron 8.500 g de NaCl, 1.9100 g de Na₂HPO₄ y 0.3800 g de KH₂PO₄, se aforó a 1 L con agua bidestilada. Finalmente se midió y ajustó el pH a 7.2 ± 0.1 con HCL 1N y 0.1 N.

Resultados y discusión

Determinación de curcumina en solución mediante UV-Vis

El punto de partida en la exploración de la metodología para la determinación simultánea de curcumina y 5FU fue obtener los espectros de absorbancia de cada componente en su solvente idóneo, un alcohol para la curcumina (metanol) y agua para el 5FU. En la Figura 2 se muestran los espectros de absorbancia de curcumina en metanol en un rango de 2 a 10 µg/mL; se observa una máxima absorbancia en 425 nm, valor similar al reportado previamente en la literatura [2] de 431 nm. La correlación lineal entre los datos fue notable, con una R²= 0.9989 y una ecuación de $y = 0.0626x + 0.0103$. Para todas las subsecuentes ecuaciones x representa la concentración en µg/mL y y la intensidad de absorbancia a la longitud de onda dada. En la determinación de curcumina mediante UV-Vis se utiliza tanto metanol como etanol como solvente, si bien en la curva de calibración inicial se usó metanol, se decidió cambiar a etanol debido a que presenta mayor intensidad de absorbancia (lo que permite mayor sensibilidad). En lo subsecuente se empleó etanol como solvente en las soluciones donde se midió la absorbancia.

Debido a que en la aplicación se pretende medir la concentración de curcumina en una solución de PBS, en una prueba de liberación dual de fármacos, se midió la absorbancia de soluciones con 90% etanol y 10% PBS, con el fin de conocer si la presencia de las sales del buffer afectan la intensidad de absorbancia. En la Figura 3 se presentan los espectros de absorbancia en el rango de 1 a 5 µg/mL en 90% etanol y 10% PBS, en general se observó que la intensidad de absorbancia máxima se modificó, en comparación con mediciones sin PBS a las mismas condiciones, debido a esto se tendrá que considerar la presencia de PBS en todas las mediciones para eliminar su efecto. En condiciones normales se podría pensar en eliminar este efecto desde el blanco, sin embargo, en las mediciones objetivo no sería posible tener una muestra sin PBS y con las mismas condiciones. A partir de este momento todas las demás pruebas considerará un 10% de PBS que proviene de tomar una muestra de 1 mL de la solución problema (de la liberación) y aforar a 10 mL.

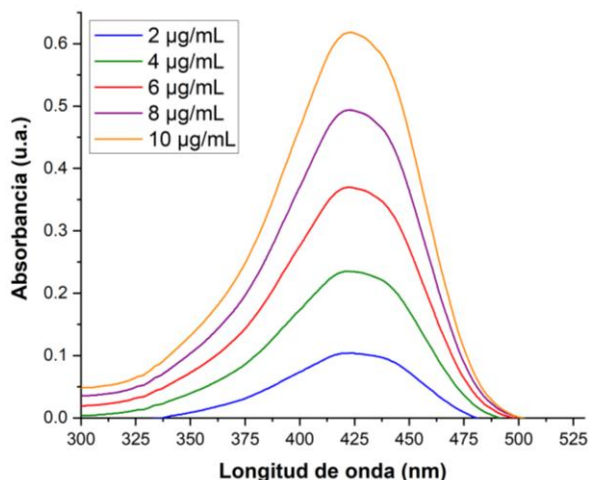


Figura 2. Espectros de absorbancia de curcumina de 2-10 µg/mL en metanol.

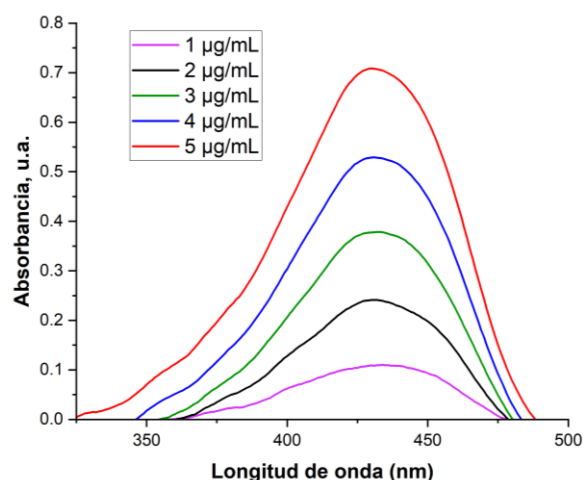


Figura 3: Espectros de absorbancia de curcumina en solución PBS, 90% etanol, 10% PBS.

Determinación de 5-fluorouracilo en solución mediante UV-Vis

De forma análoga a las mediciones de curcumina, se obtuvieron espectros de 5FU en el rango de 2 a 10 µg/mL y como solvente agua bidestilada. De acuerdo a lo reportado por la bibliografía [20] se obtuvo la intensidad de absorbancia máxima a 266 nm (Figura 4). La correlación lineal fue notable, con una $R^2= 0.9996$ y una ecuación de $y = 0.0569x + 0.0030$. Nuevamente pensando en el objetivo final de medición, lo primero que se probó fue si la presencia de 10% de PBS en la curva de calibración afecta la intensidad de absorbancia del 5FU. Como se puede observar en la Figura 5 la señal se mantuvo en 266 nm, sin embargo, las intensidades de absorbancia cambiaron, en general disminuyeron por la presencia del PBS. La correlación entre las diferentes concentraciones de 5FU se mantiene consistente, con una $R^2= 0.9994$ y una ecuación de $y = 0.0540x - 0.0017$.

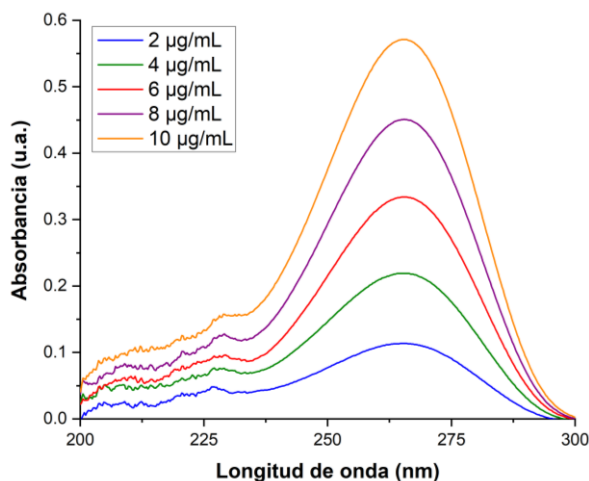


Figura 4. Espectros de absorbancia de 5-fluorouracilo de 2-10 µg/mL, en agua.

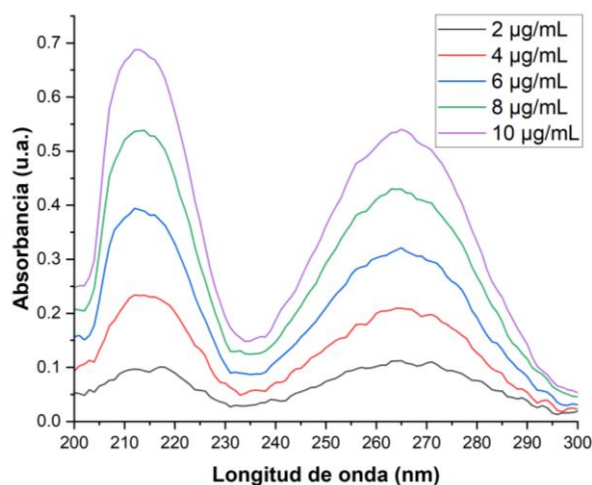


Figura 5. Espectros de absorbancia de 5-fluorouracilo de 2-10 µg/mL, en agua con 10% de PBS.

Además, se aprecia un nuevo pico aún de mayor intensidad que el reportado para 5FU solo, en 215 nm. Lo interesante es que ésta nueva señal a 215 nm aumenta su intensidad con el aumento de la concentración de 5FU, a pesar de que todas las muestras tienen la misma cantidad de PBS, se observa también una excelente correlación lineal, $R^2= 0.9954$ y una ecuación de $y = 0.0693x - 0.0267$. Esto indica algún tipo de interacción entre el PBS y el 5FU. La única forma de eliminar esta interacción es incluir en las curvas de calibración siempre la misma proporción de 10% de PBS, para tomar en cuenta la intensidad de absorbancia con esa cantidad de PBS presente.

Determinación simultánea de 5-fluorouracilo y curcumina en presencia de 2-hidroxipropil- β -ciclodextrina en solución mediante UV-Vis

El paso siguiente fue incluir tanto la curcumina como el 5FU en las mediciones de absorbancia, para ello se obtuvieron los espectros de absorbancia de soluciones de 5FU en el rango de 2 a 10 $\mu\text{g/mL}$ y manteniendo fija la concentración de curcumina en 5 $\mu\text{g/mL}$ y 10% de PBS. Se probaron 2 diferentes proporciones etanol/agua, con el fin de encontrar las proporciones adecuadas donde se pueda obtener una intensidad de absorbancia fija para la curcumina en 431 nm y una relación lineal para el 5FU a 266 nm. En la Figura 6 se presentan los espectros con una proporción 80% etanol y 20% agua, se observa que, si bien se obtienen señales a 266 nm atribuidos al 5FU en una relación algo cercana a la lineal, en 431 nm se obtienen intensidades variables para una concentración fija de curcumina, esto indica que en estas proporciones etanol/agua hay interacción entre el 5FU y la curcumina que afecta su intensidad de absorbancia, por lo tanto, estas condiciones no serán útiles para determinación simultánea de ambos compuestos. Es interesante observar que aún el espectro de la muestra que no contiene 5FU (0 $\mu\text{g/mL}$) tiene una pequeña señal en la longitud de onda de 266 nm, producto de una combinación entre la curcumina y el PBS.

En la Figura 7 se observan los espectros de absorbancia para la proporción etanol/agua de 10/90. La intensidad de la absorbancia a 266 nm, atribuida al 5FU tiene una excelente correlación lineal con una $R^2 = 0.9999$ y una ecuación de $y = 0.0535x + 0.1541$. Se observa que se mantiene la señal atribuida al PBS, ahora un poco desplazada a 211 nm. Ahora, la señal a 431 nm atribuida a la curcumina prácticamente se mantiene constante, sólo con una pequeña diferencia del tratamiento con 2 $\mu\text{g/mL}$, sin embargo, es menor a 3% y puede ser atribuido a un error experimental. Este es un excelente resultado, con esto podemos definir la condición de proporción etanol/agua en 10/90, y en el 90% de agua debe estar presente el 10% de PBS.

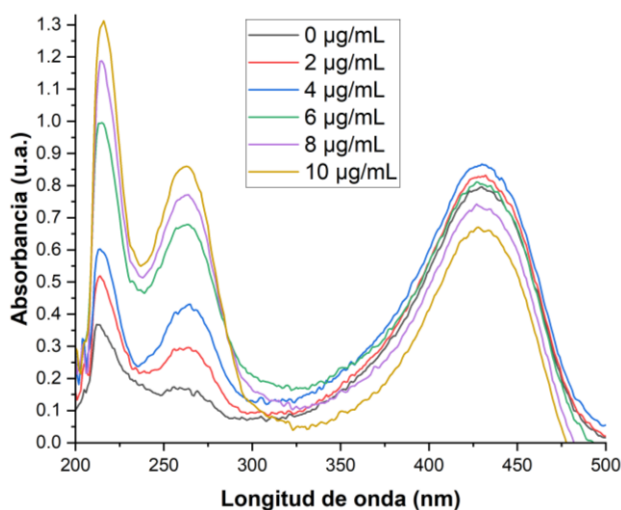


Figura 6. Espectros de absorbancia 5FU, 2-10 $\mu\text{g/mL}$, 5 $\mu\text{g/mL}$ curcumina, 10% PBS y 80% etanol.

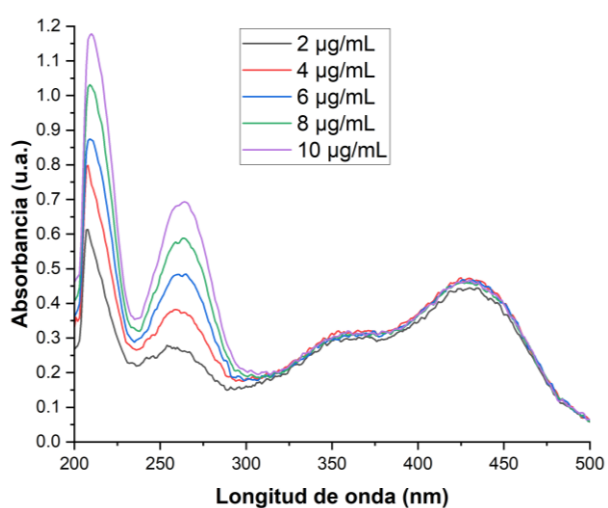


Figura 7. Espectros de absorbancia 5FU de 2-10 $\mu\text{g/mL}$, 5 $\mu\text{g/mL}$ curcumina, 10% PBS y 10% etanol.

El paso siguiente fue incluir la 2-hidroxipropil- β -ciclodextrina (2HP- β CD) en el sistema de curcumina y 5FU en las mediciones de absorbancia y estudiar su comportamiento. Como es conocido, la 2HP- β CD forma un complejo de inclusión con la curcumina [27], lo cual afecta la intensidad de la absorbancia a 431 nm, y que además, su intensidad varía de acuerdo a la proporción etanol/agua en la solución; se obtuvieron los espectros de absorbancia de soluciones de 5 $\mu\text{g/mL}$ de curcumina + 2 $\mu\text{g/mL}$ de 2HP- β CD con 10% de PBS a diferentes proporciones etanol/agua. Lo anterior con el fin de determinar la cantidad de etanol necesario en el sistema para que toda la curcumina exhiba su máxima absorbancia y garantice que las lecturas sean confiables. En la Figura 8 se presentan los espectros de absorbancia, se aprecia que la intensidad de absorbancia aumenta cuando aumenta la cantidad de etanol, pero a proporciones de 75/25 y 90/10 de etanol/agua la absorbancia se mantiene constante, esto nos indica que en un sistema con al menos el 75% de etanol, la absorbancia de la curcumina es independiente de dicha proporción. Sin embargo, previamente se determinó que cuando está presente el 5FU la mejor proporción es cuando se tiene mayor cantidad de agua, por eso se decidió trabajar con proporciones de 90% agua (incluido 10% PBS) y 10% de etanol, sobre todo porque en mayor cantidad de agua el efecto del complejo con la ciclodextrina será mayor y una forma de eliminar ese efecto, o al menos considerarlo en todas las mediciones, es conocer cuál es la cantidad de 2HP- β CD necesaria para que a una cantidad fija de curcumina su absorbancia no cambie. Se obtuvieron espectros de absorbancia de soluciones de 5 $\mu\text{g/mL}$ de curcumina + 5

$\mu\text{g/mL}$ de 5FU, con 10% de PBS y con diferentes cantidades de 2HP- βCD . En la Figura 9 se presentan los espectros de absorbancia, donde se puede apreciar que prácticamente las intensidades de absorbancia tanto de 5FU como de curcumina no se ven afectadas por la concentración de 2HP- βCD . Esto indica que cuando en el sistema se encuentra suficiente 2HP- βCD para complejar la curcumina presente, ésta ya no influye en su intensidad de absorbancia. A partir de esta etapa se usará 2HP- βCD en exceso ($50 \mu\text{g/mL}$), para asegurar que en todas las lecturas sólo se está midiendo curcumina complejada, y así eliminar el efecto de la 2HP- βCD presente, cantidad desconocida en las pruebas objetivo.

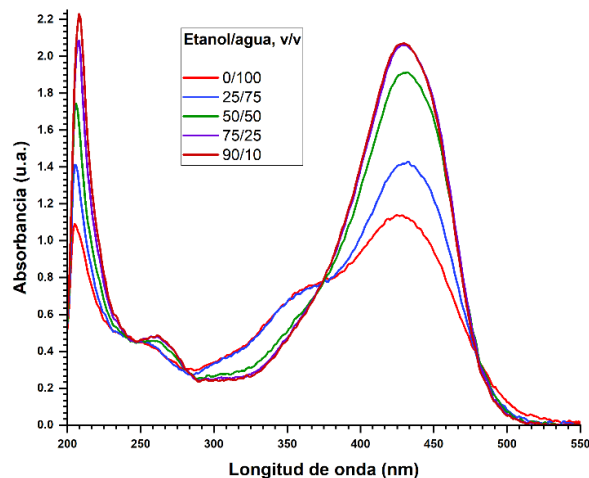


Figura 8. Espectros de absorbancia de curcumina ($5 \mu\text{g/mL}$) y 10% de PBS en varias proporciones de etanol/agua.

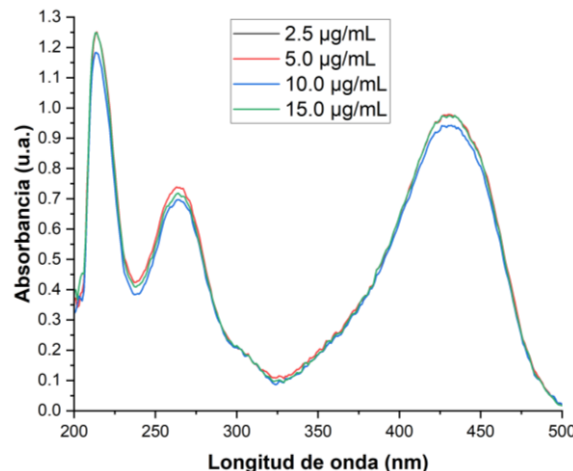


Figura 9. Espectros de absorbancia de curcumina y 5FU, $5 \mu\text{g/mL}$ c/u, 10% de PBS variando la concentración de 2HP- βCD de $2.5\text{-}15 \mu\text{g/mL}$.

Como una última prueba se midió la absorbancia de soluciones de $5 \mu\text{g/mL}$ de curcumina + $5 \mu\text{g/mL}$ de 5FU, con 10% de PBS en dos proporciones etanol/agua: 80/20 y 10/90, los resultados se presentan en la Tabla 1. Con esto quedó claro que la mejor proporción etanol/agua para las mediciones, a fin de que no se vea afectada la intensidad de la absorbancia tanto de 5FU como de curcumina es de 10/90, ésta será la proporción usada para las subsecuentes pruebas.

Tabla 1. Intensidades de absorbancia de soluciones de $5 \mu\text{g/mL}$ de curcumina + $5 \mu\text{g/mL}$ de 5FU con 10% de PBS en diferentes proporciones de etanol/agua.

Concentración de 2HP- β , $\mu\text{g/mL}$	Absorbancia etanol/agua 80/20, v/v		Absorbancia etanol/agua 10/90, v/v	
	266 nm	431 nm	266 nm	431 nm
2.5	0.766	0.830	-	-
5.0	0.767	0.857	0.762	0.474
10.0	0.762	1.026	0.779	0.473
15.0	0.786	1.037	-	-

Previo a construir la curva final se realizó una curva de calibración de curcumina en el rango de 2 a $10 \mu\text{g/mL}$, con $5 \mu\text{g/mL}$ de 5FU, una proporción de etanol/agua de 10/90, con 10% de PBS y $50 \mu\text{g/mL}$ de 2HP- βCD . Se usó un blanco con $5 \mu\text{g/mL}$ de 5FU y $50 \mu\text{g/mL}$ de 2HP- βCD , con 10% de etanol, esta prueba fue con el fin de comprobar la contribución de la combinación curcumina-PBS en la absorbancia a 266 nm, con ello se comprobó que aún sin 5FU presente hay un aporte en la intensidad en esa longitud de onda. Los resultados se presentan en la Figura 10, se puede observar que la intensidad máxima en la región del 5FU se desplazó a 243 nm, sin embargo, tanto a 266 como a 243 nm las intensidades varían de forma lineal con respecto a la concentración de curcumina y pueden ser cuantificadas, para este trabajo se decidió usar el valor a 266 nm ($R^2= 0.9976$ y una ecuación de $y = 0.0414x - 0.0066$). En la Figura 10 se observa la señal de la absorbancia a 431 nm de la curcumina, la cual presenta una correlación lineal $R^2= 0.9993$ y una ecuación de $y = 0.1189x - 0.0125$. Además, a diferencia de lo observado en la Figura 7, cuando hay $50 \mu\text{g/mL}$ de 2HP- βCD en el sistema, la intensidad de absorbancia de la curcumina presenta una ligera disminución, en función de la cantidad d 5FU presente, que varía en forma lineal de acuerdo a la ecuación $y = 1.020x - 0.520$, expresada en porcentaje. Debido a lo anterior,

se debe de considerar en la lectura de absorbancia de curcumina en la figura 11 este pequeño incremento, a fin de conocer la cantidad real presente en la muestra. Finalmente, con la información reunida se definieron las condiciones para hacer la curva de calibración definitiva de curcumina, se utilizó un rango de 2 a 10 $\mu\text{g/mL}$, con 5 $\mu\text{g/mL}$ de 5FU, una proporción de etanol/agua de 10/90, con 10% de PBS y 50 $\mu\text{g/mL}$ de 2HP- βCD . Para esta prueba el blanco es etanol/agua, 10/90% v/v. La única diferencia entre la Figura 10 y 11 es que en la primera se usó un blanco con 5FU y 2HP- βCD , en las concentraciones ya descritas y para la segunda el blanco utilizado es etanol/agua, 10/90% v/v.

Con la información anterior se determinó el procedimiento final en las mediciones de las muestras problema provenientes del proceso de liberación: se midió la absorbancia de la solución agregando 10% etanol y 50 $\mu\text{g/mL}$ de 2HP- βCD , con el 10% de PBS y 90% de agua, con el valor obtenido de la absorbancia se calculó la concentración de curcumina en la curva de calibración de la Figura 11 (considerando la corrección, debida a la presencia de 5FU y 50 $\mu\text{g/mL}$ de 2HP- βCD , para ello se usó la ecuación $y = 1.020x - 0.520$, ya explicada previamente. Esta curva es exclusivamente para leer concentración de curcumina, para conocer la concentración de 5FU se tomó el valor obtenido y se ubicó en la Figura 12, donde se grafican 3 diferentes curvas de calibración de 5FU en función de la concentración de curcumina, y mediante interpolación se obtuvo el valor de la concentración de 5FU. Las ecuaciones de las líneas de 2, 6 y 10 $\mu\text{g/mL}$ de la Figura 12 son de $y = 0.0971x + 0.1433$, $y = 0.0984x + 0.3494$ y $y = 0.0976x + 0.5947$, respectivamente.

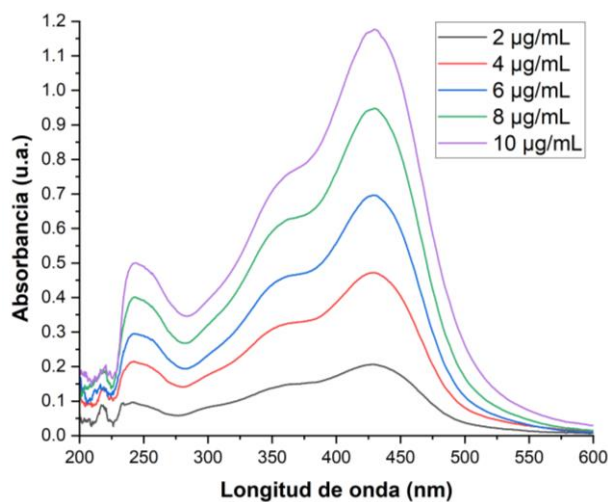


Figura 10. Curva de absorbancia de curcumina de 2-10 $\mu\text{g/mL}$ y 5 $\mu\text{g/mL}$ de 5FU con 10% etanol, 10% PBS y 50 $\mu\text{g/mL}$ de 2HP- βCD . Blanco con 5FU y 2HP- βCD

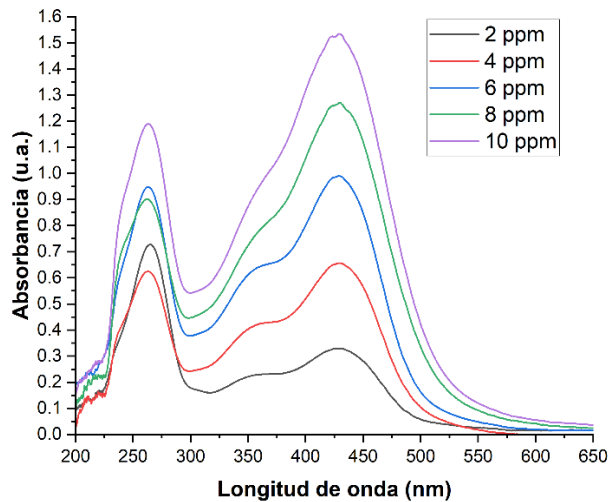


Figura 11. Curva de absorbancia de curcumina de 2-10 $\mu\text{g/mL}$ y 5 $\mu\text{g/mL}$ de 5FU con 10% etanol, 10% PBS y 50 $\mu\text{g/mL}$ de 2HP- βCD .

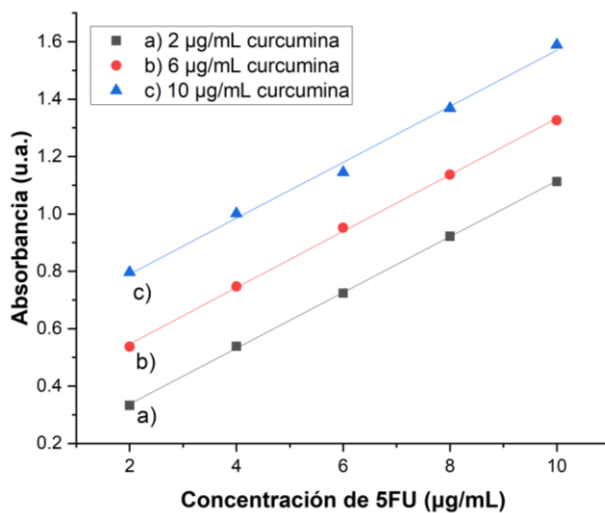


Figura 12. Curvas de absorbancia de 5FU de 2-10 $\mu\text{g/mL}$ en función de 2, 6 y 10 $\mu\text{g/mL}$ de curcumina presente.

Para la comprobación de la metodología se montó un experimento de liberación con un hidrogel de quitosana-2HP- β CD- α β -glicerol fosfato, como se describió en la sección de metodología. Se tomó 1 mL de solución de la prueba de liberación a las 24 horas, se agregó 1 mL de etanol, 2.5 mL de 2HP- β CD (200 μ g/mL) disuelta en agua y se aforó a 10 mL, y se leyó su absorbancia. También se agregó un tratamiento que no contenía curcumina, se tomaron 2 muestras de 1 mL y se procesaron de la misma forma, a una se le añadió 3 μ g/mL de curcumina y al segundo 7 μ g/mL, esto con el fin de validar el método con cantidades conocidas. Las absorbancias a 431 nm fueron de 0.495, 0.509 y 1.188, 1.179 respectivamente, usando la metodología propuesta dicha lectura corresponde a 3.13 ± 0.04 μ g/mL y 7.07 ± 0.03 μ g/mL respectivamente, lo que demuestra la eficacia del método para determinar curcumina. Por otra parte, la concentración desconocida de 5FU en la solución para cada muestra fue de 1.004 y 1.066, usando la Figura 12 e interpolando para 3 y 7 μ g/mL tenemos una concentración de 5FU de 10.29 ± 0.21 μ g/mL, esto sugiere un buen ajuste del modelo.

Conclusiones

La determinación simultánea de 5FU y curcumina en solución de una prueba de liberación dual de estos dos fármacos mediante espectrofotometría UV-Vis es un problema complejo, debido a las interferencias mutuas en la intensidad de absorbancia de ambos compuestos. Además, la presencia de PBS y ciclodextrina aumentan dichas interacciones que afectan la intensidad de la absorbancia de estos fármacos. Se propuso un procedimiento secuencial donde se fueron eliminando las interferencias para lograr medir de forma simultánea 5FU y curcumina en solución PBS en una prueba de liberación dual de fármacos de un hidrogel de quitosana- β -ciclodextrina- α β -glicerol fosfato. La solución final fue construir curvas de calibración de 5FU de 2-10 μ g/mL en presencia de diferentes concentraciones de curcumina con 10% de PBS, 10% de etanol, 50 μ g/mL de 2HP- β CD. Las intensidades de absorbancia a 431 y 266 nm permiten determinar la concentración de ambas sustancias en la solución problema.

Trabajo a futuro

Se planea utilizar los resultados de este trabajo como una técnica estándar en la medición simultánea de curcumina y 5FU en sistemas *in vitro* de liberación dual de fármacos (hidrogeles de quitosana- β -ciclodextrina- α β -glicerol fosfato) donde la solución del medio es buffer de fosfato (PBS). Esta solución se utiliza como simuladora de fluido corporal, ya a futuro se pretende usar estos hidrogeles como biomaterial en pruebas *in vivo* para combate de tumores cancerígenos.

Agradecimientos

Se agradece al estudiante Yovani Alonso Santis López, tesista de la Licenciatura en Biología del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, de la Benemérita Universidad de Guadalajara por su trabajo en la realización de los experimentos y sus contribuciones al presente trabajo.

Referencias

- [1] N. Sebastià, J. M. Soriano, J. Mañes, and A. Montoro, "Medicinal Properties and Health Benefits of Curcumin," in *Curcumin: Biosynthesis, Medicinal Uses and Health Benefits*, J. Sasaki and M. Kichida, Eds. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2012, pp. 235–248.
- [2] S. J. Stohs *et al.*, "The fallacy of enzymatic hydrolysis for the determination of bioactive curcumin in plasma samples as an indication of bioavailability: A comparative study," *BMC Complement. Altern. Med.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–8, 2019.
- [3] A. Amalraj, A. Pius, S. Gopi, and S. Gopi, "Biological activities of curcuminoids, other biomolecules from turmeric and their derivatives – A review," *J. Tradit. Complement. Med.*, vol. 7, no. 2, pp. 205–233, 2017.
- [4] A. Rahmani, M. Alsahli, S. Aly, M. Khan, and Y. Aldebasi, "Role of Curcumin in Disease Prevention and Treatment," *Adv. Biomed. Res.*, vol. 7, no. 1, p. 38, 2018.
- [5] M. Moballeggh Nasery *et al.*, "Curcumin: A potential therapeutic natural product for adenocarcinomas," *Phytochem. Lett.*, vol. 49, no. March 2021, pp. 45–55, 2022.
- [6] Z. Sayyar, H. Jafarizadeh-Malmiri, and N. Beheshtizadeh, "A Study on the anticancer and antimicrobial activity of Curcumin nanodispersion and synthesized ZnO nanoparticles," *Process Biochem.*, vol. 121, no. June, pp. 18–25, 2022.

- [7] Y. Wang, R. Sun, X. Xu, M. Du, B. Zhu, and C. Wu, "Structural interplay between curcumin and soy protein to improve the water-solubility and stability of curcumin," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 193, no. PB, pp. 1471–1480, 2021.
- [8] M. Jain *et al.*, "Ionic liquid-based cationic vesicles: A de novo system to judiciously improve the solubility, stability and antimicrobial activity of curcumin," *J. Mol. Liq.*, vol. 341, p. 117396, 2021.
- [9] R. K. Das, N. Kasoju, and U. Bora, "Encapsulation of curcumin in alginate-chitosan-pluronic composite nanoparticles for delivery to cancer cells," *Nanomedicine Nanotechnology, Biol. Med.*, vol. 6, no. 1, pp. 153–160, 2010.
- [10] P. Ma *et al.*, "Preparation of curcumin-loaded emulsion using high pressure homogenization: Impact of oil phase and concentration on physicochemical stability," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 84, pp. 34–46, 2017.
- [11] A. Karewicz *et al.*, "Curcumin-containing liposomes stabilized by thin layers of chitosan derivatives," *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, vol. 109, pp. 307–316, 2013.
- [12] Q. Hu and Y. Luo, "Chitosan-based nanocarriers for encapsulation and delivery of curcumin: A review," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 179, pp. 125–135, 2021.
- [13] P. Arya and N. Raghav, "In-vitro studies of Curcumin- β -cyclodextrin inclusion complex as sustained release system," *J. Mol. Struct.*, vol. 1228, p. 129774, 2021.
- [14] C. A. Ramírez Barragán, E. R. Macías Balleza, L. García-Uriostegui, J. A. Andrade Ortega, G. Toríz, and E. Delgado, "Rheological characterization of new thermosensitive hydrogels formed by chitosan, glycerophosphate, and phosphorylated β -cyclodextrin," *Carbohydr. Polym.*, vol. 201, pp. 471–481, Dec. 2018.
- [15] N. Zhang, Y. Yin, S. J. Xu, and W. S. Chen, "5-Fluorouracil: Mechanisms of resistance and reversal strategies," *Molecules*, vol. 13, no. 8, pp. 1551–1569, 2008.
- [16] X. Zhou *et al.*, "Curcumin Enhances the Effects of 5-Fluorouracil and Oxaliplatin in Inducing Gastric Cancer Cell Apoptosis Both In Vitro and In Vivo.," *Oncol. Res.*, vol. 23, no. 1, pp. 29–34, 2016.
- [17] M. Shakibaei, P. Kraehe, B. Popper, P. Shayan, A. Goel, and C. Buhrmann, "Curcumin potentiates antitumor activity of 5-fluorouracil in a 3D alginate tumor microenvironment of colorectal cancer," *BMC Cancer*, vol. 15, no. 1–250, pp. 1–15, Dec. 2015.
- [18] B. Du, L. Jiang, Q. Xia, and L. Zhong, "Synergistic Inhibitory Effects of Curcumin and 5-Fluorouracil on the Growth of the Human Colon Cancer Cell Line HT-29," *Chemotherapy*, vol. 52, no. 1, pp. 23–28, Dec. 2005.
- [19] K. Hazra, C. Council, A. Sci, and Y. A. Chowdary, "Uv-Visible Spectrophotometric Estimation of Curcumin in nanoformulation," vol. 2, no. 3, pp. 127–130, 2015.
- [20] E. Beňová *et al.*, "pH-responsive mesoporous silica drug delivery system, its biocompatibility and co-adsorption/co-release of 5-Fluorouracil and Naproxen," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 561, no. May, p. 150011, Sep. 2021.
- [21] P. Gami, D. Kundu, S. D. K. Seera, and T. Banerjee, "Chemically crosslinked xylan- β -Cyclodextrin hydrogel for the in vitro delivery of curcumin and 5-Fluorouracil," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 158, pp. 18–31, 2020.
- [22] T. Al Hagbani and S. Nazzal, "Curcumin complexation with cyclodextrins by the autoclave process: Method development and characterization of complex formation," *Int. J. Pharm.*, vol. 520, no. 1–2, pp. 173–180, Mar. 2017.
- [23] C. Serri *et al.*, "Nano-precipitated curcumin loaded particles: effect of carrier size and drug complexation with (2-hydroxypropyl)- β -cyclodextrin on their biological performances," *Int. J. Pharm.*, vol. 520, no. 1–2, pp. 21–28, 2017.
- [24] A. Creteanu *et al.*, "Study on the Role of the Inclusion Complexes with 2-Hydroxypropyl- β -cyclodextrin for Oral Administration of Amiodarone," *Int. J. Polym. Sci.*, vol. 2019, 2019.
- [25] G. Chen and R. Gong, "Study on fluorouracil-chitosan nanoparticle preparation and its antitumor effect," *Saudi Pharm. J.*, vol. 24, no. 3, pp. 250–253, 2016.
- [26] W. Zhang *et al.*, "Study of a water-soluble supramolecular complex of curcumin and β -cyclodextrin polymer with electrochemical property and potential anti-cancer activity," *Chinese Chem. Lett.*, vol. 33, no. 8, pp. 4043–4047, 2022.
- [27] N. N. S. Mai, R. Nakai, Y. Kawano, and T. Hanawa, "Enhancing the Solubility of Curcumin Using a Solid Dispersion System with," *Pharmacy*, vol. 8, no. 203, p. 14, 2020.
- [28] S. Supper, N. Anton, N. Seidel, M. Riemenschnitter, C. Schoch, and T. Vandamme, "Rheological study of chitosan/polyol-phosphate systems: Influence of the polyol part on the thermo-induced gelation mechanism," *Langmuir*, vol. 29, no. 32, pp. 10229–10237, 2013.

Obtención de azúcares reductores mediante hidrólisis asistida por ultrasonido de granos gastados de cervecería

J. Estrada-García¹, W. Zárate-Hernández², J.M. Méndez-Contreras¹, E. Hernández-Aguilar^{2*}

¹División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba, Oriente 9 852, Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, México,

²Universidad Veracruzana Facultad de Ciencias Químicas, Prol. Avenida Oriente 6 1009, Rafael Alvarado C.P. 94340, Orizaba, México

* eduhernandez@uv.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

La producción de cerveza artesanal en México ha crecido exponencialmente en los últimos años, incrementando la generación de residuos cerveceros conocidos como granos gastados de cervecería, los cuales no reciben tratamiento y su disposición final no es adecuada. En este trabajo se estudió la hidrólisis asistida por ultrasonido (HAUS) para la producción de azúcares reductores (AR) utilizando residuos cerveceros los cuales fueron previamente caracterizados fisicoquímica y reológicamente, se aplicaron dos amplitudes 10 y 15%, dos cantidades de enzimas celulasas (0.3 y 0.5% p/v) durante 6 y 8 h. Se obtuvieron concentraciones iniciales de 11.52 ± 3.27 g carbohidratos/L y 2.4442 ± 0.1124 g AR/L y se observó una naturaleza del fluido dilatante. Bajo estas condiciones se obtuvo con 15% amplitud y 0.5% celulasa la mayor concentración de AR 12.3609 ± 0.0685 g/L, por lo que se recomienda utilizar valores bajos de los factores analizados para incrementar la producción de AR.

Palabras clave: Hidrólisis, ultrasonido, granos gastados de cervecería

Abstract

The production of craft beer in Mexico has grown exponentially in recent years, increasing the generation of beer waste known as brewers' spent grains, which do not receive treatment and their final disposal is inadequate. In this work, ultrasound-assisted hydrolysis (UAH) was studied to produce reducing sugars (RS) using brewing residues which were previously characterized physicochemically and rheologically, two amplitudes of 10 and 15%, two amounts of cellulase enzymes (0.3 and 0.5% w/v) for 6 and 8 h. Initial concentrations of 11.52 ± 3.27 g carbohydrates/L and 2.4442 ± 0.1124 g RS/L were obtained, and a dilatant fluid was observed. Under these conditions, the highest concentration of RS 12.3609 ± 0.0685 g/L was obtained with 15% amplitude and 0.5% cellulase, so it is recommended to use low values of the factors analyzed to increase AR production.

Key words: Hydrolysis, ultrasound, brewers' spent grains

Introducción

La producción de cerveza artesanal en México se ha incrementado en los últimos años en más de 2500% principalmente entre 2011 y 2017 [1]. La producción de cerveza es muy importante para México ubicándose entre las 19 principales actividades económicas del país. Además de que a nivel mundial es considerado el principal exportador desde el año 2010 y también es el cuarto productor de cerveza a nivel mundial [2]. Lo cual conlleva a mayor generación de residuos con 425,579 toneladas de granos gastados (principal residuo generado), y levadura residual. A nivel mundial se estima que por cada hectolitro se producen entre 15 y 18 kg de bagazo cervecero [3]. Granos gastados de cervecería o Brewers' Spent Grains (BSG) consisten en capas de piel, pericarpio y semillas con cantidades residuales de endosperma y cebada usada como material crudo. Los BGS tienen 80% humedad y material lignocelulósico [4]. Es caracterizado por contener grandes cantidades de fibra con más del 70%, incluido celulosa, hemicelulosa y lignina, y un contenido en proteínas de 25-30% [5].

Los residuos generados en la industria cervecera han sido considerados de bajo valor comercial y normalmente son dispuestos en tiraderos o rellenos sanitarios produciendo gases de efecto invernadero, siendo un problema social, económico y ambiental. A pesar de esto, dadas las características químicas de los BSG, pueden ser

destinados para obtener productos con alto valor económico y energético, incluso como alimento para rumiantes [6]. Son diversas las aplicaciones que se pueden dar a los BSG como la generación de combustibles como metano o etanol, materiales de construcción, obtención de biomasa rica en nutrientes, obtención de carbón orgánico, entre otros [7]. Actualmente pasando por procesos físicos y químicos se obtiene metano para la producción de calor y electricidad y así dar origen a la bioenergía, además por su alto contenido de antioxidantes pueden ser utilizados en la industria farmacéutica y cosmética [8].

Como se ha mencionado los BSG son residuos fibrosos y con alto contenido de compuestos lignocelulósicos por lo que es conveniente realizar un pretratamiento, que mejore el manejo y aprovechamiento de estos, siendo una etapa indispensable para el procesamiento de biomasa lignocelulósica que complementan procesos como la hidrólisis enzimática y posibilita la obtención de altos rendimientos de azúcares reductores (AR) o fermentables; esto se hace necesario principalmente porque la lignina presente en las paredes celulares de los granos forma barreras contra el ataque enzimático y dificultaría la generación de AR [9]. Por lo que pretratar residuos de esta naturaleza favorecería el aprovechamiento y revalorización de los BSG para la obtención de productos con alto valor económico, ambiental y energético como lo es el bioetanol.

En los últimos años el uso de ultrasonido como pretratamiento de residuos lignocelulósicos, ha resultado ser una técnica que mejora el proceso de obtención de AR y mejorando los resultados finales en la hidrólisis enzimática, lo que lleva a plantear una nueva tecnología llamada hidrólisis asistida por ultrasonido (HAUS) [10]. Aunque, la aplicación de ultrasonido es un método que debe realizarse cuidando que las variaciones de potencia y tiempo de exposición no sean altos ya que puede ocasionar daños en la estructura del residuo o la liberación de otros compuestos como derivados furánicos y ácidos débiles [11].

Además, el tamaño de partícula y el pretratamiento son factores que afectan directamente las propiedades reológicas de residuos lignocelulósicos, ya que partículas más grandes tienen fibras más grandes (cadenas largas) lo que resulta en que las interacciones entre partículas se vean afectadas con una mayor resistencia al flujo, afectando directamente en el intercambio de masa [12]. En este estudio se buscó caracterizar física, química y reológicamente BSG de una planta de cerveza artesanal de Orizaba, Veracruz y aplicar diferentes amplitudes de ultrasonido, cantidad de enzima y tiempos de hidrólisis en un pretratamiento HAUS con el fin de evaluar la viabilidad de los residuos cerveceros para producir AR que puedan ser utilizados en la generación de nuevos productos (bioetanol, biomasa).

Metodología

Obtención de residuos cerveceros “Granos Gastados de Cervecería”

Los Granos Gastados de Cervecería o Brewers' Spent Grains (BSG), fueron proporcionados por la cervecería Altas Cervezas Brewing Co., de la ciudad de Orizaba estos consistieron en muestras sólidas provenientes de los procesos de producción de cerveza artesanal, generados del proceso de cocción (previo a la fermentación). Previo a la caracterización de los residuos, fueron secados (con el fin de retirar la mayor cantidad de humedad), triturados (disminución de tamaño de partícula) a un tamaño de 0.01-0.03 mm y tamizados para retirar partículas que puedan interferir en las pruebas, posteriormente se hizo una dilución para tener una concentración de entre 3 y 5% Sólidos Totales (ST).

Caracterización fisicoquímica y reológica de los BSG

En la Tabla 1 se muestran los parámetros fisicoquímicos a caracterizar para los residuos cerveceros y que corresponden a cada uno de los requerimientos en el proceso a desarrollar, ya que, en caso de detectar deficiencias en las concentraciones de los parámetros, serán sustituidas con residuos o fuentes de otro origen ricos en los nutrientes necesarios con el fin de obtener el máximo aprovechamiento de los residuos. La caracterización reológica se realizó con un viscosímetro Brookfield DV2T con chaqueta de control de temperatura y con el usillo “UL”, a 25 °C de 0 a 517 s⁻¹ para obtener la viscosidad y esfuerzo de corte, resultados que se ajustaron a dos modelos reológicos Herschel-Bulkley y Ostwald-de Waele (Ecuaciones 1-2).

$$\tau = \tau_o + (k \cdot \dot{\gamma}^n) \quad (1)$$

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

Donde τ_o = esfuerzo de corte (Pa), k = índice de consistencia, n = índice de flujo, $\dot{\gamma}$ = velocidad de corte (s^{-1}).

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos para la caracterización de BSG

Parámetro [Unidad]	Método utilizado	Referencia
pH [-]	Potenciométrico	[13]
Viscosidad [Pa s] a 25 °C	Brookfield	
Sólidos Totales [%]	Método estándar 2540G de la APHA-AWWA-WPFC (2017)	[14]
Sólidos Totales Volátiles [%]	Método estándar 2540G de la APHA-AWWA-WPFC (2017)	
Carbohidratos [g/L]	Antrona-sulfúrico	[15]
Proteínas [%]	Micro Kjeldahl	[16]
Nitrógeno [%]	Micro Kjeldahl	
Azúcares reductores [g/L]	Método DNS	[7, 15]
Humedad [%]	Gravimétrico	[17]
Cenizas [%]	Gravimétrico	

Proceso de Hidrólisis Asistida por Ultrasonido (HAUS)

En la Tabla 2 se muestra el diseño experimental del tratamiento HAUS teniendo en cuenta las variables de operación: tiempo, amplitud y concentración de enzima, siendo un diseño 2^3 con 1 réplica, las pruebas se realizaron en matraces de 250 mL con un volumen útil de 200 mL, a una temperatura y pH constantes de 55 °C y 5.5 respectivamente (parámetros sugeridos por el fabricante), para todos los tratamientos. La especie enzimática utilizada fue Celuzyme® producida por una cepa de *Trichoderma reesei* por ENMEX S.A. de C.V. Los resultados obtenidos se analizaron con el software Minitab 2018 con un 95 % de confianza.

Tabla 2. Diseño experimental Hidrólisis Asistida por Ultrasonido (HAUS) 2^3 .

Temperatura constante de 37 °C		
Amplitud (%)	Tiempo (h)	Celulasa (%) *
15	6	0.3
20	8	0.5

* % en peso seco

Se tomaron muestras cada 30 minutos para determinar la concentración de azúcares reductores (AR), mediante el método de DNS, el cual consistió en agregar 0.5 mL de DNS a la muestra, llevar a calentamiento durante 10 min a 90 °C, enfriar y agregar 5 mL de agua destilada para finalmente leer en espectrofotómetro Genesys UV-Vis a 540 nm.

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica y reológica

Uno de los parámetros de los BSG que es indispensable para mantener las condiciones idóneas para las enzimas en el proceso planteado, es el pH (Tabla 3). Según estudios de fermentación los valores óptimos de pH óptimos van de 5.5 a 6.5, en este caso el valor se encuentra dentro del rango reportado para este tipo de residuo [17, 18]. La viscosidad en bioprocesos tiene una relación estrecha con la generación de subproductos y la degradación y consumo de sustrato (carbohidratos principalmente), aunado a que si existe disminución de la viscosidad en el desarrollo del proceso podría facilitar el transporte por bombeo o mezclado, debido al adelgazamiento del sustrato por efectos de fricción [19, 20], en este caso se registró una viscosidad de 0.00170 ± 0.00005 Pa·s como previo a los pretratamientos.

Respecto a los ST y STV se obtuvieron $4.0640 \pm 0.0751\%$ y $96.5119 \pm 0.2156\%$ respectivamente, estos últimos se relacionan con la materia orgánica disponible como sustrato para el crecimiento de microorganismos, los

cuales se utilizarán en las siguientes etapas del proyecto. Bajo esas concentraciones de ST y STV, se tiene 11.52 ± 3.27 g Carbohidratos/L que se espera incremente después de aplicar el pretratamiento planteado, con relación a esto se obtuvo una concentración de azúcares reductores o fermentables de 2.4442 ± 0.1124 g/L, de los parámetros anteriores no se tiene registro en la literatura.

Las concentraciones iniciales de nitrógeno y proteínas fueron de $0.0495 \pm 0.0012\%$ y $0.3096 \pm 0.0007\%$ respectivamente, este último se considera como referente en el mejoramiento de las propiedades funcionales del sustrato e incrementar su valor económico, ya que además el uso de microorganismos en BSG sugiere la producción de proteínas unicelulares. Si bien nutricionalmente el contenido de proteínas favorece las aplicaciones posteriores del sustrato, altas concentraciones de proteínas lo hacen susceptible al deterioro microbiano en un corto periodo de tiempo [21], mismo caso sucede con la humedad que dadas las condiciones de dilución se encontró un valor alto ($96.2038 \pm 0.2699\%$), se han reportado valores de 77.32% y 80.01% [22].

Finalmente, el contenido de cenizas de este caso ($0.0880 \pm 0.0060\%$) es adecuado dado que concentraciones altas puede ocasionar problemas de combustión o ignición [19]; se han reportado valores superiores considerando que son en porcentaje base seca como $3.26 \pm 0.06\%$, $3.50-5.03\%$ [23, 24].

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica de BSG en fase acuosa (4 % p/v).

Parámetro [Unidad]	Valor
pH	6.03 ± 0.01
Viscosidad [Pa·s] a 25 °C	0.00170 ± 0.00005
Sólidos Totales [%]	4.0640 ± 0.0751
Sólidos Totales Volátiles [%]	96.5119 ± 0.2156
Carbohidratos [g/L]	11.52 ± 3.27
Proteínas [%]	0.3096 ± 0.0007
Nitrógeno [%]	0.0495 ± 0.0012
Azúcares reductores [g/L]	2.4442 ± 0.1124
Humedad [%]	96.2038 ± 0.2699
Cenizas [%]	0.0880 ± 0.0060

Dadas las características del material (BSG) se requieren precisar las propiedades reológicas para el análisis y operación de bioprocesos; los BSG son materiales lignocelulósicos lo que les confiere altas viscosidades al ser utilizadas como aditivos en alimentos [25], en procesos de fermentación y otros. En el caso presentado los resultados mostrados en la Figura 1-A sugieren que la naturaleza física del residuo es dilatante ($n > 1$), con $n = 1.0470$ debido a que el modelo Herschel-Bulkley presentó un mejor ajuste a los datos (0.9892), en contraste con el modelo Ostwald-de Waele que a pesar de tener un valor de $n = 0.9952$ (siendo pseudoplástico) el ajuste del modelo fue ligeramente menor (0.9886), los resultados se muestran en la Tabla 4.

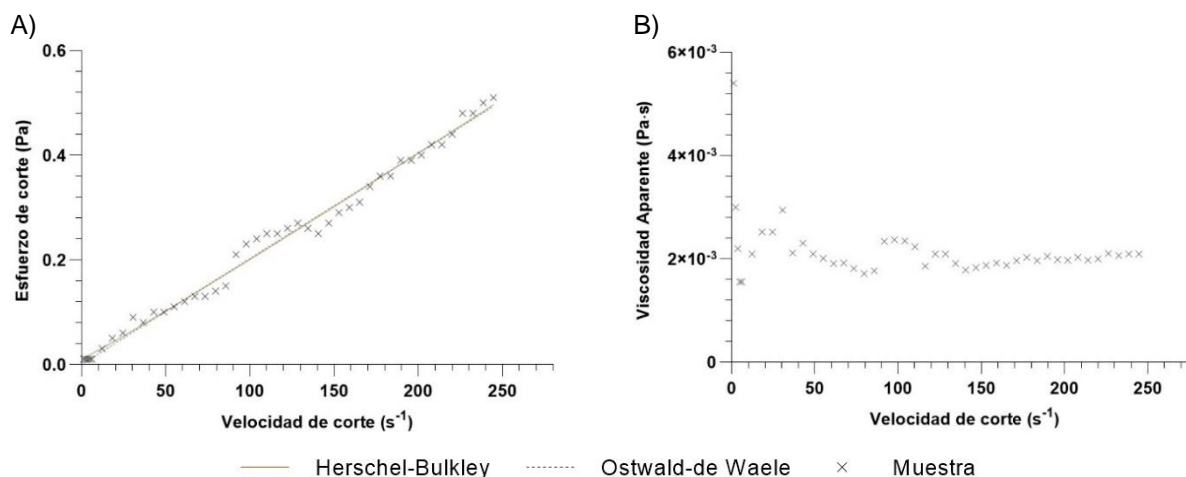


Figura 1. Reogramas del residuo cervecero (BSG) medidas a 25 °C: A) esfuerzo de corte (Pa) comparado con dos modelos reológicos (Herschel-Bulkley y Ostwald-de Waele), B) viscosidad aparente (Pa·s)

Además, la Figura 1-B muestra una pequeña disminución de la viscosidad aparente, pero al incrementar la velocidad de corte existe un ligero espesamiento por cizallamiento, causando que la viscosidad aparente aumente lo cual refuerza la idea de que el residuo es un fluido dilatante, que según estudios con BSG se ha reportado esa misma característica [25, 26]. Si bien los índices de consistencia (n) tienden a la unidad se descartaría la idea de que se comporte como un fluido Newtoniano ya que se obtuvo un coeficiente de correlación para el modelo de Newton de 0.9889 ligeramente menor al obtenido con el modelo de Herschel-Bulkley.

Tabla 4. Propiedades reológicas del BSG comparado con dos modelos

Herschel-Bulkley				Ostwald-de Waele		
τ_o	k	n	R^2	τ_o	n	R^2
0.01034	0.00153	1.0470	0.9892	0.00207	0.9952	0.9886

Producción de AR mediante el pretratamiento HAUS

La Figura 2 muestra la producción de AR durante 6 y 8 h con dos amplitudes y dos concentraciones de enzima (celulasa), los resultados señalan que a mayor amplitud de ultrasonido (20%) y 0.5% de celulasa (1 g) se produce menor cantidad de AR con 9.0483 ± 0.1682 g/L, la cual fue la concentración producida al término de 6 h (360 min). Durante el mismo tiempo, pero con una amplitud de 20% y 0.6% de enzima se alcanzó la mayor producción de AR con 12.9688 ± 0.6151 g/L (Figura 2-A). De manera similar el prolongar el tiempo de hidrólisis a 8 h (480 min) la mayor producción de AR se obtuvo con 15% amplitud y 0.5% celulasa con una concentración de 12.3609 ± 0.0685 g/L, mientras que la menor concentración producida fue de 11.0476 ± 0.3393 g/L con 15% de amplitud y 0.3% de celulasa (0.6 g) según lo muestra la Figura 2-B.

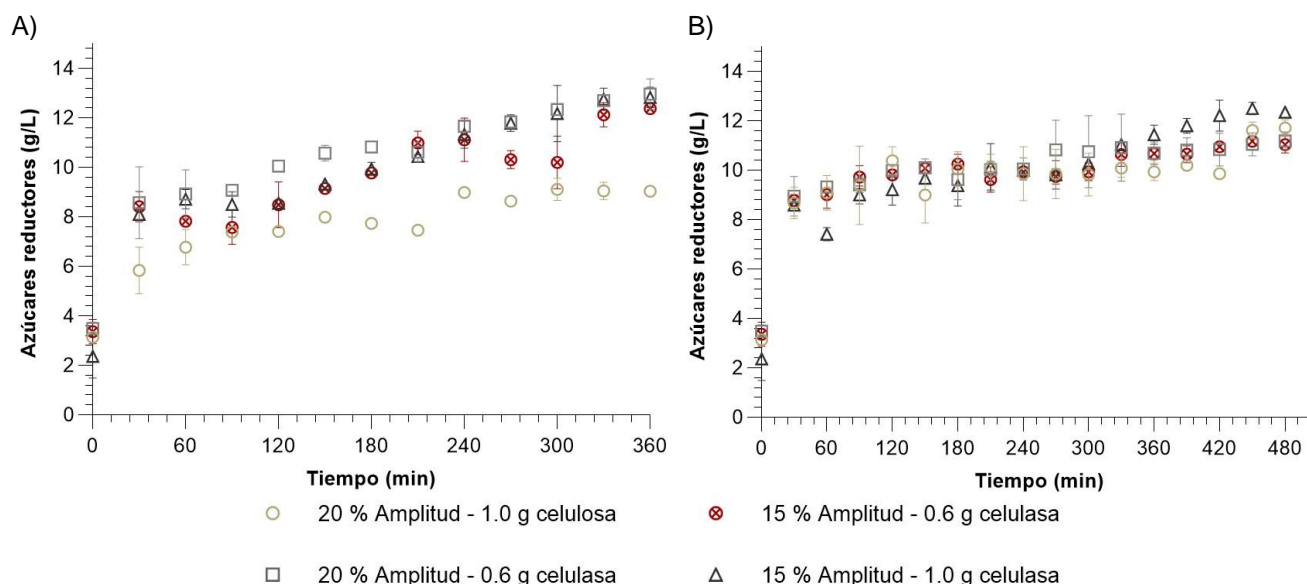


Figura 2. Producción de AR durante A) 6 h y B) 8 h, a diferentes concentraciones de enzima (celulasa) y amplitud ultrasónica.

Si bien la mayor concentración de AR se obtuvo a mayor amplitud (20%) y con una menor cantidad de enzima 0.3% fue suficiente para favorecer los sitios activos en los que se producen AR, aunque hay factores como la fuente del sustrato empleado, naturaleza y cantidad de este [27]; los resultados sugieren que el tipo de residuo estudiado (BSG) es apto para producir mayor cantidad de AR lo que lo hace atractivo en la generación de nuevos productos [7, 10]. Los resultados obtenidos son superiores a los obtenidos por un tratamiento ácido-térmico aplicado a BSG con concentraciones finales de AR entre 10.54 y 10.98 g/L [28], incluso mayor que un tratamiento térmico aplicado a bagazo cervecero durante 1 h obteniendo una concentración de 5.75 g AR/L [18].

De acuerdo con el análisis de varianza realizado con una confianza del 95%, la interacción de tres términos amplitud-tiempo-enzima ($p=0.001$), y las interacciones de tres términos tiempo-enzima ($p=0.000$), amplitud-enzima ($p=0.000$) y amplitud-tiempo ($p=0.005$) resultaron significativas en la producción de AR. A su vez, los factores amplitud ($p=0.001$) y enzima ($p=0.047$) de igual manera influyen de manera significativa en el proceso, aunque la cantidad de enzima tiene menor influencia en la respuesta estudiada, lo anterior se puede observar en

la Figura 3 que muestra el diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Para este caso el ajuste del modelo obtenido fue de 92.48%, por lo que son aceptables los factores estudiados y que en gran parte representan los factores que influyen en la producción de AR en residuos cerveceros (BSG).

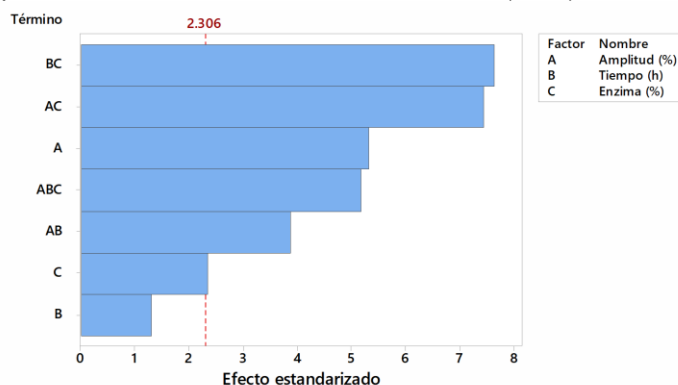


Figura 3. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, para los tres factores analizados: Amplitud (%), tiempo (h) y cantidad de enzima (%).

Finalmente, la Figura 4 muestra las gráficas de efectos principales y de interacciones de los factores analizados para la producción de AR. En la gráfica de efectos principales los factores amplitud y enzima tienden a mayor concentración de AR en los niveles bajos por lo que se recomendaría aplicar 15% amplitud y 0.3% de enzima, por un tiempo de 6 h se operación, con lo cual se reduce el tiempo. De igual manera, en la gráfica de interacciones se observan las combinaciones entre dos factores que favorecerían el proceso de hidrólisis, como el caso de enzima-amplitud en la que este último ambos niveles (15 y 20%) tienden a cruzarse en el nivel bajo de enzima (0.3%) por lo que sin importar el porcentaje de amplitud se podría obtener mayor cantidad de AR a valores bajos de enzima, mismo caso ocurre con las concentraciones de enzima, las cuales tienden a cruzarse en el nivel bajo de amplitud (15%).

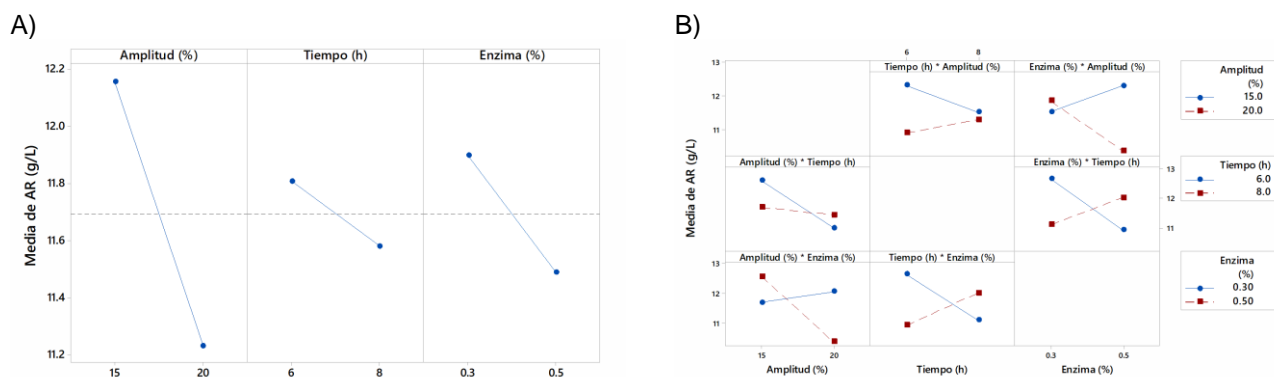


Figura 4. A) Gráfica de efectos principales para AR (g/L), B) Gráfica de interacciones para AR (g/L) considerando los tres factores analizados.

En general el residuo utilizado (BSG) es apto para la producción de AR mediante el pretratamiento HAUS, dado que las características del sustrato se vieron modificadas por la exposición a las ondas ultrasónicas al tiempo planteado (10 min) aunque se han reportado valores de hasta 30 min [27], dado que puede incrementar la interacción sustrato-enzima durante el proceso de hidrólisis y mejorar la transferencia de masa [29]. Las ventajas del tratamiento ultrasónico es que brinda un fraccionamiento y reacciones químicas más fáciles de los materiales lignocelulósicos dando como resultado la formación de azúcares fermentables [30], además que en este caso particular el tamaño de partícula disminuyó por efecto del tratamiento, modificando la estructura física del residuo [29, 30].

Trabajo a futuro

Analizar el efecto de mayor tiempo de exposición a la etapa ultrasónica y los cambios en la estructura física del residuo posterior a la aplicación del pretratamiento. Otro punto por considerar es el monitoreo reológico del

proceso para detectar puntos de operación y control con base en las variables reológicas y la producción de azúcares reductores o fermentables.

Conclusiones

El residuo cervecero fue caracterizado fisicoquímica y reológicamente encontrando que contiene concentraciones de carbohidratos 11.52 ± 3.27 g/L y un valor inicial de 2.4442 ± 0.1124 g AR/L, siendo los principales parámetros considerados en el proceso de hidrólisis. Los parámetros reológicos evaluados corresponden a un fluido dilatante ($n=1.0470$) el cual tiende a incrementar su viscosidad por aumento del esfuerzo de corte generado, punto importante a considerar en procesos de mezclado ya que podría dificultar el intercambio de masa. Según los resultados obtenidos en la producción de AR se propone utilizar 15% de amplitud y 0.5% de celulasa durante 8 h, ya que bajo estas condiciones se obtuvo una mayor concentración de AR con 12.3609 ± 0.0685 g/L, además, se recomienda prolongar los tiempos de exposición en la etapa ultrasónica para mejorar las condiciones del sustrato y se logre incrementar la obtención de AR. Lo anterior fue justificado por el análisis de varianza realizado observando que los factores amplitud y cantidad de enzima influyen significativamente en la respuesta. En general el residuo utilizado (BSG) resulta apto para la producción de AR por lo que se puede utilizar en procesos de bioconversión, dadas sus modificaciones estructurales y químicas, lo que podría mejorar los rendimientos y la obtención de nuevos productos como bioetanol o biomasa.

Referencias

- [1] C. R. Guerra-Tamez, M. C. Dávila-Aguirre, J. N. Barragán-Codina and P. G. Rodríguez, "Analysis of the elements of the theory of flow and perceived value and their influence in craft beer consumer loyalty," *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*, vol. 33, no. 5, pp. 487-517, 2021.
- [2] INEGI, "Colección de estudios sectoriales y regionales. Conociendo la Industria de la cerveza," 2020.
- [3] V. I. Camacho and T. D. Grande, "Bagazo de malta (BSG): Biorresiduo con potencial aplicación a nivel funcional, material y energético," *Prospectiva*, vol. 19, no. 1, 2021.
- [4] A. Chetrariu and A. Dabija, "Brewer's Spent Grains: Possibilities of Valorization, a Review," *Applied Sciences*, vol. 10, p. 5619, 2020.
- [5] J. Zeng, W. Huang, X. Tian, X. Hu and Z. Wu, "Brewer's spent grain fermentation improves its soluble sugar and protein as well as enzymatic activities using *Bacillus velezensis*," *Process Biochemistry*, vol. 111, pp. 12-20, 2021.
- [6] A. Marcus and G. Fox, "Fungal Biovalorization of a Brewing Industry Byproduct, Brewer's Spent Grain: A Review," *Foods*, vol. 10, p. 2159, 2021.
- [7] M. Cermeño, M. Dermiki, T. Kleekayai, L. Cope, R. McManus, C. Ryan, M. Felix, C. Flynn and R. J. FitzGerald, "Effect of enzymatically hydrolyzed brewers' spent grain supplementation on the rheological, textural, and sensory properties of muffins," *Future Foods*, vol. 4, p. 100085, 2021.
- [8] C. M. Molina, "Bioenergía: Análisis regional del aprovechamiento integral de los residuos de la industria agropecuaria," 2016.
- [9] Y. Liao, B. O. de Beeck, K. Thielemans, T. Ennaert, J. Snelders, M. Dusselier and B. F. Sels, "The role of pretreatment in the catalytic valorization of cellulose," *Molecular Catalysis*, vol. 487, p. 110883, 2020.
- [10] S. S. Hassan, R. Ravindran, S. Jaiswal, B. K. Tiwari, G. A. Williams and A. K. Jaiswal, "An evaluation of sonication pretreatment for enhancing saccharification of brewers' spent grain," *Waste Management*, vol. 105, pp. 240-247, 2020.
- [11] D. Araújo, T. Costa, F. Freitas, "Biovalorization of Lignocellulosic Materials for Xylitol Production by the Yeast *Komagataella pastoris*," *Applied Sciences*, vol. 11, p. 5516, 2021.
- [12] B. Volynets, F. Ein-Mozaffari and Y. Dahman, "Biomass processing into ethanol: pretreatment, enzymatic hydrolysis, fermentation, rheology, and mixing," *Green Processing and Synthesis*, vol. 6, no. 1, pp. 1-22, 2017.
- [13] J. Estrada-García, E. Hernández-Aguilar, N. A. Vallejo-Cantú, A. Alvarado-Lassman and J. M. Méndez-Contreras, "Monitoreo reológico del proceso de bioconversión de residuos agrocañeros por acción probiótica como control de bioprocesos," *Memorias del XLII Encuentro Nacional de la AMIDIQ*, vol. 1, No. 3, pp. 87-92, 2021.
- [14] APHA, WPCF, AWWA, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd ed., American Public Health Association (APHA)," Washington, DC., vol. 72, pp.2-66, 2017.

- [15] X. López-Legarda, A. Taramuel-Gallardo, C. Arboleda-Echavarría, F. Segura-Sánchez, L. Restrepo-Betancur, "Comparación de métodos que utilizan ácido sulfúrico para la determinación de azúcares totales," *Revista Cubana de Química*, vol. 29, no. 2, pp. 180-198, 2017.
- [16] H. K. Mæhre, L. Dalheim, G. K. Edvinsen, E. O. Elvevoll, I. J. Jensen, "Protein determination—method matters," *Foods*, vol. 7, no. 1, p. 5, 2018.
- [17] J. Castilla-Archilla, S. Papirio, P. N. L. Lens, "Two-step process for volatile fatty acid production from brewery spent grain: Hydrolysis and direct acidogenic fermentation using anaerobic granular sludge," *Process Biochemistry*, vol. 100, pp. 272-283, 2021.
- [18] W. G. Sganzerla, L. S. Buller, S. L. Mussato, T. Forster-Carneiro, "Techno-economic assessment of bioenergy and fertilizer production by anaerobic digestion of brewers' spent grains in a biorefinery concept," *Journal of Cleaner Production*, vol. 297, p. 126600, 2021.
- [19] M. Ayyash, B. Abu-Jdayil, P. Itsaranuwat, E. Galiwango, C. Tamiello-Rosa, H. Abdullah, G. Esposito, Y. Hunashal, R. S. Obaid, F. Hamed, "Characterization, bioactivities, and rheological properties of exopolysaccharide produced by novel probiotic *Lactobacillus plantarum* C70 isolated from camel milk," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 114, pp. 938-946, 2020.
- [20] J. Estrada-García, E. Hernández-Aguilar, N. A. Vallejo-Cantú, A. Alvarado-Lassman and J. M. Méndez-Contreras, "Monitoreo reológico del proceso de bioconversión de residuos agrocañeros por acción probiótica como control de bioprocesos," *Memorias del XLII Encuentro Nacional de la AMIDIQ*, vol. 3, no. 1, pp. 87-92, 2021.
- [21] A. Bianco, M. Budroni, S. Zara, I. Mannazzu, F. Fancello, G. Zara, "The role of microorganisms on biotransformation of brewers' spent grain," *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 104, pp. 8661-8678, 2020.
- [22] Z. Jin, Y. Lan, J. B. Ohm, J. Gillespie, P. Schwarz, B. Chen, "Physicochemical composition, fermentable sugars, free amino acids, phenolics, and minerals in brewers' spent grains obtained from craft brewing operations," *Journal of Cereal Science*, vol. 104, p. 103413, 2022.
- [23] M. A. Coronado, G. Montero, D. G. Montes, B. Valdez-Salas, J. R. Ayala, C. García, M. Carillo, J. A. León, A. Moreno, "Physicochemical characterization and SEM-EDX analysis of brewer's spent grain from the craft brewery industry," *Sustainability*, vol. 12, no. 18, p. 7744, 2020.
- [24] A. Paz, D. Outeiriño, N. G. Pérez, J. M. Domínguez, "Enzymatic hydrolysis of brewer's spent grain to obtain fermentable sugars," *Bioresource Technology*, vol. 275, pp. 402-409, 2019.
- [25] J. Naibaho, N. Butula, E. Jonuzi, M. Korzenowska, O. Laaksonen, M. Föste, M. L. Kütt, B. Yang, "Potential of brewers' spent grain in yogurt fermentation and evaluation of its impact in rheological behavior, consistency, microstructural properties and acidity profile during refrigerated storage," *Food Hydrocolloids*, vol. 125, p. 107412, 2022.
- [26] P. Koirala, N. H. Maina, H. Nihtilä, K. Kati, R. Coda, "Brewers' spent grain as substrate for dextran biosynthesis by *Leuconostoc pseudomesenteroides* DSM20193 and *Weissella confusa* A16," *Microb Cell Fact*, vol. 20, no. 23, 2021.
- [27] P. G. Utekar, M. M. Kininge and P. R. Gogate, "Intensification of delignification and enzymatic hydrolysis of orange peel waste using ultrasound for enhanced fermentable sugar production," *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, vol. 168, p. 108556, 2021.
- [28] C. Corchado-Lopo, O. Martínez-Avila, E. Marti, J. Llimós, A. M. Busquets, D. Kucera and S. Ponsá, "Brewer's spent grain as a no-cost substrate for polyhydroxyalkanoates production: Assessment of pretreatment strategies and different bacterial strains," *New Biotechnology*, vol. 62, pp. 60-67, 2021.
- [29] D. Wang, F. Hou, X. Ma, W. Chen, L. Yan, T. Ding, X. Ye and D. Liu, "Study on the mechanism of ultrasound-accelerated enzymatic hydrolysis of starch: Analysis of ultrasound effect on different objects," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 148, pp. 493-500, 2020.
- [30] O. A. Fakayode, N. D. K. Akpabli-Tsigbe, H. Wahia, S. Tu, M. Ren, C. Zhou and H. Ma, "Integrated bioprocess for bio-ethanol production from watermelon rind biomass: Ultrasound-assisted deep eutectic solvent pretreatment, enzymatic hydrolysis and fermentation," *Renewable Energy*, vol. 180, pp. 258-270, 2020.

Modificación enzimática de la fibra de piña y su aplicación en productos de panificación

P. García Muñoz¹, M. Valera Zaragoza¹, R. Utrilla Coello¹, A. Aguirre Cruz², M. A. García Muñoz^{1*}

¹Universidad del Papaloapan Campus Tuxtepec, Av. Circuito Central No. 200, Col. Parque Industrial, C.P. 68301, Tuxtepec, Oaxaca, México.

²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Av. Dr. Víctor Bravo Ahuja S/N., Col. 5 de mayo, C.P. 68350, Tuxtepec, Oaxaca, México.

*garcia_m9@hotmail.com

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El objetivo de este trabajo fue modificar enzimáticamente la fibra de piña para incrementar su contenido de fibra soluble y su uso en la elaboración de galletas a partir de la sustitución parcial de harina de malanga por fibra modificada de piña, en la relación 90-10 (F1), 80-20(F2) y 70-30 (F3). Los resultados mostraron un incremento significativo del contenido de fibra dietética soluble después de la modificación. Las formulaciones con mayor aceptabilidad en el análisis sensorial fueron F1 y F2 en la escala "me gusta mucho", con valores elevados de luminosidad. El análisis de textura mostró un incremento significativo en los parámetros de dureza a medida que se incrementó el contenido de fibra en las galletas, haciéndolas menos aceptadas por el consumidor. Finalmente, la adición del 10% de fibra dietética, hace de este producto una formulación atractiva para la funcionalización de alimentos con bajo contenido calórico y libre de gluten.

Abstract

The aim of this work was to enzymatically modify pineapple fiber to improve its soluble fiber content and its application in the production of cookies from the partial replacement of malanga flour by modified pineapple fiber, in the ratio 90-10 (F1), 80-20(F2) and 70-30 (F3). The results showed a significant increase the content of soluble dietary fiber after the modification. The formulations with the highest acceptability in the sensory analysis were F1 and F2 on the scale "I like it a lot", with high values of luminosity. The texture analysis showed a significant increase in the hardness parameters as the fiber content in the cookies increased, making them less accepted by the consumer. Finally, the addition of 10% dietary fiber makes this product an attractive formulation for the functionalization of low-calorie, gluten-free foods.

Introducción

La vida sedentaria del ser humano y el excesivo consumo de alimentos industrializados con alta densidad energética, entre otras, ha propiciado un grave problema de salud pública, posicionando a las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) como las principales causas de muerte a nivel mundial. Por consiguiente, una de las áreas que más ha venido revolucionando la industria de los alimentos es la sustitución de carbohidratos simples o de digestión rápida como glucosa, fructosa y galactosa por fibra dietética (FD). La FD es uno de los componentes reconocidos como ingrediente funcional, es de utilidad para el buen funcionamiento gastrointestinal, además, se ha comprobado su papel en la prevención y tratamiento de algunas ECNT tales como: diabetes, obesidad, dislipidemias e hipertensión arterial [1]. La FD está formada por una mezcla heterogénea de sustancias que por sus propiedades físicas y el efecto que cumplen en el organismo se clasifican como fibra dietética soluble (FDS) y fibra dietética insoluble (FDI), referida dicha solubilidad a las fibras que se dispersan en el agua [2]. Se ha demostrado que la fibra soluble en contacto con el agua se hincha por efecto de un retículo que atrapa el agua, originando soluciones de gran viscosidad, este efecto es importante en el organismo porque en el intestino delgado enlentece el tiempo de tránsito y en el estómago retarda el vaciamiento gástrico prolongando la sensación de saciedad. Mientras que la fibra insoluble se caracteriza por atrapar el agua en su matriz provocando mezclas de baja viscosidad agilizando el tránsito intestinal [3]. El hecho de que el contenido de fibra dietética soluble en los productos agroindustriales es demasiado bajo, hace de esta una oportunidad para buscar alternativas de modificación de la FD y elevar el contenido de FDS y mejorar algunas funciones

fisiológicas importantes. Lattimer y Haub [4], recomiendan una dosis diaria promedio de 18 g/día de FDS para reducir la glucemia en ayunas.

Derivado de lo anterior, se ha impulsado a los investigadores a buscar alternativas para mejorar las propiedades de la fibra dietaria, y así potencializar sus beneficios en la salud.

Por mencionar algunos investigadores, Qianyun Ma y col. [5], modificaron enzimáticamente (celulasa/xilanasas) residuos de papa (*Solanum tuberosum L.*). Los investigadores reportaron un aumento del 17.45 % al 26.82 % de FDS. Además, concluyen que la FD modificada exhibió un mayor contenido de monosacáridos solubles, una mayor termoestabilidad y una estructura más porosa en comparación con la fibra dietética no modificada. Sumado a que mejoraron las propiedades funcionales de la fibra dietética, incluida la capacidad de retención de agua y aceite, capacidad de hinchamiento, capacidad de absorción de glucosa y colesterol y capacidad de intercambio catiónico. Por otro lado, Li-Wen Song y col. [6], utilizaron tres métodos para modificar la fibra de los residuos de la pulpa del limón. Los autores reportaron que la hidrólisis con xilanasas aumentó el contenido de fibra dietética soluble de 10.31 a 19.12 g/100 g y disminuyó el contenido de celulosa de 38,97 a 35.85 g/100 g, y hemicelulosa de 22.16 a 18.83 g/100 g. Además, la combinación del tratamiento enzimático y molienda mecánica mejoró significativamente la capacidad de retención de agua, la capacidad de retención de aceite y la capacidad de hinchamiento en comparación con la fibra sin modificar. Finalmente, Mengmei Ma y Taihua Mu [7], investigaron el efecto de un método combinado de altas presiones hidrostáticas y enzimático (HHP-enzimático) sobre las propiedades funcionales de la fibra dietética del comino (*Cuminum cyminum L.*). Los investigadores reportaron que este método incrementó el contenido de fibra dietética soluble (30.37 g/100 g), además, mostró una mejor capacidad de retención de agua, capacidad de hinchamiento, capacidad de absorción de aceite y glucosa, índice de inhibición de la actividad de la amilasa e índice de retardo de los ácidos biliares. Por lo anterior, se plantea la modificación enzimática de fibra de piña para incrementar el contenido de fibra soluble y su utilización en galletas a base de harinas no convencionales como: malanga (*Colocasia esculenta, L. Scott*) y fibra de piña (*Ananas comusus*) para obtener un alimento funcional, y potenciar los beneficios en la salud de los consumidores.

Metodología

Materias primas

Se utilizó tubérculo fresco de malanga y bagazo de piña, el cual fueron donados por la empresa Integradora R y T de la cuenca S.A.P.I. de C.V. y una juguería local, respectivamente, ubicada en el ejido Sebastopol, Tuxtepec Oaxaca. Ambas materias primas fueron obtenidas en estado fisiológico maduro.

Harina de malanga

La harina de malanga se procesó siguiendo el protocolo estipulado por Madrigal Ambriz y col. [8]. El tubérculo se lavó para eliminar las impurezas, se peló y posteriormente se cortó en rodajas de 3.5 mm de espesor. Las rodajas fueron escaldadas durante 20 s a 90°C, seguidas de cinco lavados con abundante agua purificada para reducir el contenido de compuestos antinutricionales, como oxalato de calcio, taninos, etc., como lo sugiere Caicedo y col. [9]. Posteriormente, se llevó a cabo la deshidratación en un horno de secado marca Scorpion Scientific, (modelo A-52040) durante 20 h, a 55°C. Seguido, se redujo el tamaño de partícula y se tamizó con una malla No. 40. El producto terminado se almacenó en bolsas herméticas en un desecador a temperatura ambiente.

Harina de piña

La harina de piña se obtuvo a través del proceso descrito por Rivera Cruz [10]. Se eliminaron los residuos (corazón y cáscara) del bagazo de la piña, posteriormente se llevaron a cabo cinco lavados con agua purificada para eliminar el jugo excedente y se pasó por un colador para escurrir toda el agua contenida. Se sometió a un proceso térmico durante 15 min, a 15 lb/in² de presión en autoclave. Terminado este proceso, se procedió a la deshidratación utilizando un horno de secado Scorpion scientific, (modelo A-52040), durante 8 h a 75°C. Posteriormente, se redujo el tamaño de partícula y se tamizó con una malla No. 40. La harina obtenida se guardó en bolsas herméticas y almacenó en un desecador hasta su modificación enzimática.

Modificación enzimática de la fibra de piña

Para llevar a cabo la modificación enzimática de la fibra de piña, se utilizó el método descrito por Rivera Cruz [10]. En un matraz Erlenmeyer, se mezclaron la solución reguladora de fosfatos (0.2 M, pH 5) y 10 g de harina de piña, manteniendo la relación 1:12 (p/v). Posteriormente la mezcla se colocó en baño María con agitación constante para mantener la mezcla homogénea. Al alcanzar los 40°C se adicionó 1 U/g de enzima celulasa (*Aspergillus niger*) y se dejó actuar por un periodo de 30 min. Pasado el tiempo de hidrólisis, se colocó la mezcla a ebullición durante 15 min para detener la actividad de la enzima y finalmente se dejó enfriar. La fibra hidrolizada se secó en un horno (marca Scorpion scientific, modelo A-52040), durante 22 h, a 70 °C. Se redujo el tamaño y finalmente se tamizó con una malla número 40. La harina obtenida se almacenó en bolsas herméticas a temperatura ambiente.

Formulación de la galleta

Después de obtener las materias primas (harina de malanga y fibra hidrolizada de piña), se realizaron pruebas preliminares para determinar los niveles máximos de sustitución de fibra modificada de piña, por harina de malanga, para una galleta estándar y posteriormente se realizaron las formulaciones que se describe en la Tabla 1.

Tabla 1. Formulación de mezclas de harinas para la elaboración de galletas

Formulación	Harina de malanga (%)	Fibra modificada de piña (%)	Harina de trigo (%)
F0	-	-	100
F1	100	-	-
F2	90	10	-
F3	80	20	-
F4	70	30	-

A partir de las formulaciones anteriores, se procedió a incorporar todos los elementos que constituyen una galleta estándar, como lo establece Pareyt y col. [11], el cual deben estar constituidas por cinco ingredientes principales: harina, azúcar, grasa, agua y un agente leudante, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Formulación de una galleta estándar propuesta por Pareyt y col. [11]

Ingrediente	Contenido (%)
Harina (14% de humedad)	39.37
Azúcar granulada	28.34
Margarina	23.6
Agua	7.87
Vainilla	1.31
Bicarbonato de sodio	1.04
Total	100%

Determinación de fibra dietética total (FDT), insoluble (FDI) y soluble (FDS) en la harina de piña

Las técnicas utilizadas para la determinación de FDT, FDI y FDS, se basaron en los métodos descritos por la AOAC 991.43 (1995) y la AACCC 32-07.01 (2010).

Análisis químico proximal de las galletas

Para ello, se determinó el contenido de humedad (NMX-f-428-1982), cenizas (AOAC, 2010), proteínas (AOAC, 1990) y lípidos (AOAC, 1990). El contenido de carbohidratos fue calculado por diferencia (100% menos el contenido de los otros componentes ya mencionados). Todas las determinaciones fueron realizadas por triplicado.

Pruebas de textura

Para esta determinación se utilizó un texturómetro marca Brookfield Texture Analyzer provisto de una plataforma de aluminio, sobre la cual se colocaron las muestras, con una celda de carga de 500 N y velocidad de 5 mm/s. Se realizó una prueba de compresión unidireccional con la finalidad de medir los parámetros de fracturabilidad (fuerza a la que el alimento empezó a quebrarse) y dureza

(fuerza máxima a la que el producto se quebró totalmente). Los análisis se realizaron por quintuplicado.

Evaluación sensorial

Se utilizó una escala hedónica preferencial de siete puntos, en la que se evaluaron el grado de preferencia sobre las formulaciones presentadas. El análisis fue realizado en las instalaciones del taller de alimentos de la Universidad del Papaloapan. Se contó con 100 panelistas no entrenados (46 hombres y 54 mujeres) con un intervalo de edad entre 18 y 60 años, al cual se les dio las indicaciones correspondientes. En la prueba, se presentaron 5 g de cada formulación previamente codificada y aleatorizada y el panelista degustó cada muestra indicando de acuerdo con la escala hedónica su nivel de preferencia [12].

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos por triplicado fueron tratados estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA). Se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para discriminar entre las medias, en caso de encontrar diferencia estadísticamente significativa.

Resultados y discusión

Composición química proximal de la fibra modificada de piña

Después de la modificación enzimática de la fibra de piña se determinó su contenido de fibra dietética total, fibra dietética soluble e insoluble.

Como se observa en la Tabla 3, el contenido de fibra dietética total fue de 52.4 g/100 g, valores esperados según la naturaleza fibrosa de la fruta. Rivera Cruz [10], reportó valores muy similares (53.54 g/100 g), para la piña de la misma variedad y cultivada en la misma región. Sin embargo, otros investigadores reportan valores distintos, según la especie de la piña, tal es el caso de Chareonthaikij y col. [13], el cual reportó valores de 70 g/100 g, de fibra dietética de la pulpa de piña *Ananas comosus* L. Por último, Mabel Selani y col. [14], reportaron valores de 45.2 g/100 g en piña *Ananas comosus* Gold.

La fibra dietética de piña reportada, en su mayoría es fibra insoluble, sin embargo, a partir de la modificación enzimática se logra aumentar el contenido de fibra soluble y con ello potencializar los beneficios y su uso de diversos productos alimentarios. Para ello, se determinó el contenido de fibra soluble e insoluble antes y después de la modificación enzimática. Como se puede observar el contenido de fibra dietética total antes de la modificación enzimática fue de 52.04 g/100g, del cual, 99.8 % corresponde a FDI y solo el 0.2 % a FDS. Después de la modificación enzimática el contenido de FDS aumentó un 11% aproximadamente, este aumento es causado por la acción secuencial de enzimas celulasas el cual catalizan la hidrólisis del enlace glucosídico de la celulosa hasta la obtención de oligosacáridos resistentes [15]. La eficiencia hidrolítica de estos complejos enzimáticos depende tanto de las propiedades individuales de cada enzima (eficiencia catalítica, estabilidad a temperatura alta y pH ácido), como de su proporción en la mezcla, lo que influye en la eficiencia de la hidrólisis [16]. Estos datos coinciden con lo reportado por Rivera Cruz [10], donde obtiene las mejores condiciones para la modificación enzimática de fibra de piña para aumentar su contenido de FDS. Otros investigadores, Mabel Selani y col. [14], reportaron un contenido de FDT de 45.22 g/100 g de fibra, presente en la pulpa de piña, del cual el 98.28 % corresponde a la fracción insoluble de la misma.

Tabla 3. Determinación de fibra dietética total de la harina de piña nativa y modificada

Componente	Contenido (g/100 g b.s.)	
	Antes de la modificación	Después de la modificación
Fibra dietética total	52.04 ±0.21	52.20 ±2.06
Fibra dietética soluble	0.100 ±0.02 ^a	5.90 ±0.12 ^b
Fibra dietética insoluble	51.94 ±0.24 ^a	46.30 ±2.06 ^b

Media aritmética de 3 repeticiones ± desviación estándar

Los valores en la misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Caracterización química proximal de las formulaciones de las galletas obtenidas

La Tabla 4 y Figura 1 muestran los resultados del análisis químico proximal de las formulaciones y producto terminado, respectivamente. El contenido de humedad para F0 fue menor, sin embargo,

para F1, F2, F3 y F4 se observaron valores aproximadamente de 6 g/100 g y no presentaron diferencia estadísticamente significativa, lo que sugiere que estas formulaciones por su alto contenido de malanga (un tubérculo almidonoso con capacidad higroscópica) y fibra hidrolizada de piña, tienen la capacidad absorber agua cuando se somete a un proceso de calentamiento, como es el caso de la elaboración de galletas. Dicha capacidad de absorción de agua viene dado principalmente a la estructura molecular del almidón y celulosa, el cual presenta una gran cantidad de grupos hidroxilos permitiendo mayor interacción con el agua a través de los puentes de hidrogeno [17].

Para cenizas y grasa cruda, se observa un incremento significativo en los valores obtenidos, y es directamente proporcional al aumento del porcentaje de fibra en las formulaciones. Respecto al contenidos de cenizas, este incremento se debe tanto a la malanga como a la fibra modificada de piña, ambos contienen minerales en su composición química y a medida que aumenta las cantidades de fibra, los valores de minerales aumentan de manera paralela. Para grasa cruda, el incremento en los valores obtenidos se le atribuye al aumento de fibra dietética, como se observa en las formulaciones F2, F3 y F4. Según Prakongpan y col. [18], sugieren que el aumento de fibra está relacionado con el contenido de retención de grasa, este efecto determinó que la estructura de la fibra dietética está relacionada con la capacidad tecno-funcional de absorción de aceite. En general las fibras dietéticas insolubles tienen una mayor absorción de aceite que las solubles, dado principalmente por su contenido de lignina y su mayor tamaño de partícula [19]. Por otro lado, Naknaen y col. [17], atribuyen que a medida que aumenta la cantidad de fibra, la capacidad de absorción de aceite viene dado por la capacidad de las fibras de poder absorber grasa por capilaridad.

Con respecto a la cantidad de proteínas presentes en las formulaciones, se puede observar que F0 presenta un valor significativamente mayor al resto de los resultados obtenidos. Cabe hacer mención que F0 está elaborado con 100 % harina de trigo, y esta, a su vez, se caracteriza por el alto contenido de gluten que se encuentra en la harina de trigo, lo que da como resultado 2.59 g/100 g de proteínas, valor significativamente mayor al encontrado en el resto de las formulaciones. Para F2, F3 y F4 la disminución gradual del contenido de proteínas puede atribuirse a que las proteínas que en conjunto con los azúcares son reducidos en las reacciones de Maillard por efecto de las altas temperaturas en el horneado, lo que disminuye de manera gradual este parámetro, al igual que el contenido de carbohidratos presentes en las formulaciones.

Tabla 4. Composición química proximal de las formulaciones elaboradas (base seca).

Componente (g/100g)	Formulaciones				
	F0	F1	F2	F3	F4
Humedad	1.42 ±0.01 ^b	6.11 ±0.102 ^a	6.10 ±0.04 ^a	5.97 ±0.22 ^a	5.84 ±0.01 ^a
Cenizas	0.90 ±0.01 ^e	2.66 ±0.11 ^d	3.20 ±0.20 ^c	4.13 ±0.11 ^b	5.03 ±0.05 ^a
Grasa cruda	15.5 ±0.44 ^b	16.7 ±0.59 ^b	20.5 ±2.02 ^{ab}	24.0 ±2.60 ^a	23.9 ±2.62 ^a
Proteína*	2.59 ±0.06 ^a	0.78 ±0.04 ^c	1.46 ±0.18 ^b	2.59 ±0.09 ^a	2.38 ±0.58 ^{bc}
Carbohidratos ¹	79.3 ±0.50 ^a	73.6 ±0.59 ^b	68.7 ±2.74 ^{bc}	64.1 ±2.36 ^c	63.2 ±3.02 ^c

Media aritmética de 3 repeticiones ± desviación estándar

*N x 6.25

¹El valor se obtuvo por diferencia

Los valores en la misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes (p <0.05).

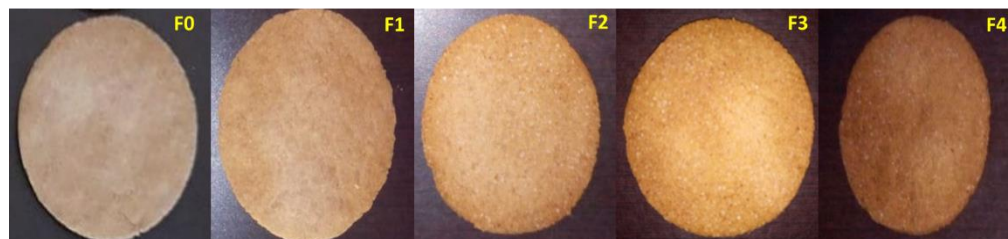


Figura 1. Galletas elaboradas a partir de las formulaciones propuestas

Análisis sensorial de las galletas

Como se observa en la Tabla 5, F0 obtuvo un valor medio de 6.36, el más elevado y con diferencia estadísticamente significativa al resto de las formulaciones. Según la escala hedónica corresponde a las categorías “me gusta moderadamente y me gusta mucho”. Esta formulación consta únicamente de harina de trigo, por ello los consumidores están más identificados con sus características organolépticas, ya que la mayoría de las galletas comerciales están elaboradas a base de harina de este cereal, por lo que es esperado este valor. Estos valores coinciden con lo reportado por Bazan-Aliaga y col. [20], quienes elaboraron galletas a partir de mezclas de harina de arroz y papa, comparándolas con galletas de harina de trigo, reportando que estas últimas presentaron mayor aceptación en el análisis sensorial con valores promedio de 7 y 7.03 en una escala hedónica de nueve puntos. Por otro lado, para F1 y F2 los valores medios obtenidos fueron de 5.40 y 5.19, de acuerdo con el análisis de estadístico, no hubo diferencia estadísticamente significativa, es decir, los panelistas mostraron el mismo nivel de aceptación para estas dos formulaciones. Es importante mencionar que la formulación F2 tiene un 10% de harina de piña modificada, lo que resulta muy conveniente ya que el resultado es una galleta con alto contenido de fibra y aceptable por los consumidores, según la prueba sensorial. De igual forma, Cedeño Reyes y Zambrano Delgado [21], reportaron que las galletas cuya formulación estaban constituidas por el 8% de harina de piña y 92% de harina de trigo, presentaron mayor aceptación en las pruebas hedónicas en diferentes atributos sensoriales (color, olor, textura y sabor) en comparación con aquellas donde la sustitución de harina de trigo por harina de piña fue mayor. A su vez, Sadal y col. [22] y Kuldip y col. [23], confirmaron que las formulaciones elaboradas a base de fibra de piña pueden presentar excelentes características sensoriales hasta un 10% de fibra añadida, intensificando sus propiedades organolépticas. Este cambio positivo de las propiedades organolépticas de las galletas se presenta a partir del 6% de fibra añadida y se mantiene hasta el 10%. Concluyendo que un incremento de las cantidades de fibra, por arriba del 10% empieza a presentar una menor aceptabilidad de las formulaciones [24].

Las formulaciones de menor aceptación fueron F3 y F4. El valor medio obtenido fue de 2.38 y 1.99 respectivamente, sin diferencia estadísticamente significativa. Estos valores, según la escala hedónica corresponden a “me disgusta moderadamente y me disgusta mucho”. Por lo anterior, los panelistas concluyeron que ambas formulaciones no fueron de su preferencia, debido al sabor y textura que presentaban las galletas.

Este análisis permitió concluir que una galleta con contenidos de fibra mayores al 10%, si bien, es un alimento con buenas propiedades nutrimentales por el aporte de fibra, es un alimento con pobres características sensoriales y los consumidores no lo consideran aceptable.

Tabla 5. Resultados de preferencia obtenidos de la prueba hedónica para las galletas elaboradas

Formulaciones	Resultado de la prueba
F0	6.360 ± 0.76 ^a
F1	5.420 ± 1.02^b
F2	5.190 ± 1.10^b
F3	2.380 ± 0.99 ^c
F4	1.990 ± 0.14 ^c

Los valores expresados como media ± desviación estándar

Los valores en la misma columna con letras diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Pruebas de textura

Uno de los parámetros de calidad más importantes para las galletas es su textura, ya que, si ésta no es la del agrado de los consumidores, es inevitable el rechazo de la misma. Por otro lado, la determinación de los parámetros texturales por medios instrumentales es compleja, ya que son materiales de composición heterogéneos y estructura poco uniforme. Los resultados de textura obtenido de las formulaciones elaboradas se presentan en la Tabla 6. Como se observa, la formulación F0 presentó el menor valor de dureza de todas las formulaciones, aproximadamente 17.9 N. Estos valores son similares a los reportados por Rao Galla y col. [25], en muestras control de galletas de harina de trigo, cuyo valor reportado fue de 2.13 Kgf (20.9 N), de igual forma, Aquino Ruiz [26], reportó valores de dureza de 15.9 N, para galletas elaboradas a partir de trigo de diferentes variedades. Sin embargo, Soler Martínez y col. [27], reportaron valores de 0.565 Kgf (5.48 N) valores muy inferiores a los reportados anteriormente. En la formulación F1 y F2, se observa un aumento

significativo en el parámetro de dureza de aproximadamente 8 N, es importante mencionar que esta formulación está elaborada únicamente de harina de malanga, y a su vez, es libre de gluten. Los valores resultantes de dureza en F1 y F2 fueron de 24.18 y 23.61 N respectivamente, y no presentan diferencia estadísticamente significativa, por lo que los consumidores no perciben diferencia entre estas dos formulaciones en cuanto a la dureza de las galletas. Estos resultados concuerdan con los valores obtenidos en el análisis sensorial, ya que ambas formulaciones presentaron el mismo nivel de preferencia de los consumidores. Por otro lado, a medida que aumentó el porcentaje de fibra para F3 y F4, el parámetro de dureza aumentó de forma proporcional haciendo de estas galletas más resistentes, es decir, se requiere mayor fuerza para poder fracturar las muestras, lo cual ocasiona dificultad en el proceso de masticación y el rechazo de los consumidores. Sadal y col. [22], reportaron el mismo patrón creciente de dureza en galletas elaboradas a partir de mezclas de harina de trigo integral sustituidas con harina de piña (5 al 15 %) atribuyendo el incremento de la dureza a la adición de fibra y una disminución considerable de crujibilidad.

Tabla 6. Parámetros de textura obtenidos de las formulaciones de galletas

Formulaciones	Dureza (N)	Deformación(mm)	Rigidez (N/mm)
F0	17.91±1.18 ^d	0.15±0.014 ^c	119.40±25.6 ^a
F1	24.18±0.99 ^c	0.17±0.014 ^b	142.00±2.56 ^a
F2	23.61±1.01 ^c	0.28±0.021 ^b	84.320±2.19 ^a
F3	28.44±0.78 ^b	0.19±0.014 ^{bc}	149.68±9.02 ^a
F4	31.79±0.48 ^a	0.33±0.007 ^a	97.630±7.44 ^a

Media aritmética de 5 repeticiones ± desviación estándar

Los valores en la misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes (p <0.05).

Escobar Moreno [28], estableció una relación directa entre el incremento de fibra y la fuerza necesaria para generar fracturas, haciéndose más evidente a medida que aumenta el porcentaje fibra. Otro parámetro de importancia que se determinó fue la rigidez, el cual se define como la tendencia que tiene el alimento a romperse ante una fuerza aplicada. La rigidez de las formulaciones no mostró diferencia estadísticamente significativa, atribuido a que dichas muestras procedían del mismo lote, por lo tanto, presentaron un buen grado de frescura y no afectó la estructura interna de las galletas horneadas, no dando lugar a la retrogradación.

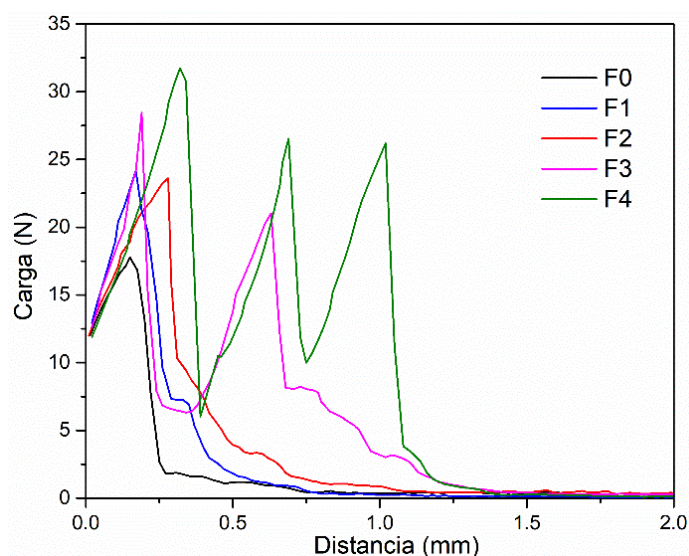


Figura 2. Comportamiento esfuerzo vs deformación de las formulaciones elaboradas

En la Figura 2 se observa el gráfico del comportamiento de textura de las galletas analizadas, observándose que para las formulaciones F0, F1 y F2 presentan un solo pico máximo de ruptura, cuando se somete a esfuerzo de tensión, reflejando menores valores de dureza y una consistencia

más uniforme en la estructura interna de la galleta. Sin embargo, para F3 y F4, presentan valores mayores a F0 y F1, además de presentar dos y tres picos máximos de fuerza de ruptura de las galletas, respectivamente. Se sugiere que múltiples picos pueden ser atribuidos a bolsas de aire presentes en la estructura interna de los productos, o derivado de la superficie irregular de la muestra al ser sometidas a pruebas de fractura, experimentando un rompimiento inadecuado e induciendo una mayor dispersión de los valores en los parámetros texturales calculados [29]. Por otro lado, Baños y Güemes [30], atribuyen que los máximos picos positivos presentados en las gráficas de textura hacen referencia al esfuerzo de oposición que presenta el alimento para ser comprimido o penetrado.

Trabajos futuros

Evaluar el efecto de los diferentes procesos físicos para incrementar el contenido de fibra soluble en diferentes fuentes agroindustriales.

Conclusiones

La modificación enzimática de fibra de piña incrementó significativamente el contenido de fibra dietética soluble en la harina, haciendo de ésta una opción viable para utilizarlas en diferentes productos de panificación. Se obtuvieron mejores resultados de textura y sensoriales para la formulación elaborada con 90% harina de malanga y 10% fibra modificada, ya que las galletas elaboradas presentaron una consistencia uniforme en la estructura interna, haciéndolas más atractivas al consumidor. Sin embargo, la incorporación de más de 10% de fibra modificada de piña afectan el grado de aceptación de los consumidores dando como resultados valores de “*me disgusta moderadamente y me disgusta mucho*” en la prueba hedónica. Por último, la incorporación de harinas de malanga y fibra modificada de piña, como sustituyentes no convencionales en la galleta permiten obtener un alimento alto en fibra dietética y además libre de gluten, el cual constituye una alternativa para consumidores celíacos y/o con alguna enfermedad crónica no transmisible.

Agradecimientos

Se agradece a la empresa productora de malanga R y T por la donación de malanga y a las instalaciones de la Universidad del Papaloapan por las facilidades brindadas para realizar este trabajo.

Referencias

- [1] C. Stanton, M. Carapetis and P. Phillips. “Fiber facts: Dietary fiber”. *Medicine Today*, vol. 9, no.2, pp. 63-68, 2007.
- [2] A. Samaan. “Dietary fiber for the prevention of cardiovascular disease”. Academic Press, 2017.
- [3] E. Escudero Alvares and P. Gonzáles Sánchez. “La fibra dietética”. *Nutrición hospitalaria*, vol. 21, no. 2, pp. 61-62, 2006.
- [4] J. M. Lattimer and M. D. Haub. “Effects of dietary fiber and its components on metabolic health”. *Nutrients*, vol. 2, no. 12, pp. 1266-89, 2010
- [5] Q. Ma, Z. Ma, W. Wang, J. Mu, Y. Liu, J. Wang, L. Stipkovits, X. Hui, G. Wu and J. Sun. “The effects of enzymatic modification on the functional ingredient - Dietary fiber extracted from potato residue”. *Lebensmittel Wissenschaft Technologie*, vol. 153, pp. 112511, 2022.
- [6] L. Song, J. Qi, J. Liao and X. Yang. “Enzymatic and enzyme-physical modification of citrus fiber by xylanase and planetary ball milling treatment. *Food Hydrocolloids*, vol. 121, pp. 107015, 2021.
- [7] M. Ma and T. Mu. “Modification of deoiled cumin dietary fiber with laccase and cellulase under high hydrostatic pressure”. *Carbohydrate Polymers*, vol. 136, pp. 87–94, 2016.
- [8] L. Madrigal Ambriz, J. Hernández Madrigal, M. Carranco Jáuregui, M. Calvo Carrillo, R. Casas Rosado R. “Caracterización física y nutricional de harina del tubérculo de malanga *Colocasia esculenta* L. Schott de Actopan, Veracruz, México”. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol. 68, no. 2, pp 175–183, 2018.
- [9] Q. W. Caicedo, B. R Rodríguez, R. S. Valle. “Una reseña sobre el uso de tubérculos de papa china (*Colocasia esculenta*) conservados en forma de ensilaje para alimentar cerdos”. *Revista Electrónica de Veterinaria*, vol. 15, no. 1, pp. 1-10, 2014.

- [10] E. Rivera Cruz. "Efecto de la hidrólisis enzimática en el contenido de fibra dietética soluble, propiedades fisicoquímicas, funcionales, reológicas y estructurales del bagazo de piña (*Ananas comosus*)". Tesis de maestría, Universidad del Papaloapan, Tuxtepec, Oaxaca, México, 2018.
- [11] B. Pareyt, F. Talhaoui F, G. Kerckhofs, K. Brijs, H. Goesaert, Wevers Martine and J. A. Delcour. "The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: Structural and textural properties". *Journal of food engineering*, vol. 90 no. 3, pp. 400–408, 2009.
- [12] M. Lutz Riquelme, D. Morales, B. S. Sepulveda and M. W. Alviña. "Evaluación sensorial de preparaciones elaboradas con nuevos alimentos funcionales destinados al adulto mayor". *Revista Chilena de nutrición*, vol. 35, no. 2, pp. 131-137, 2008.
- [13] P. Chareonthaikij, T. Tanat Uan-On and W. Prinyawiwatkul. "Effects of pineapple pomace fibre on physicochemical properties of composite flour and dough, and consumer acceptance of fibre-enriched wheat bread". *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 51 pp. 1120–1129, 2016.
- [14] M. Selani, S. G. Canniatti Brazaca, C. T. Dos Santos Dias W.S. Ratnayake, R. A. Flores, A. Bianchini. "Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement". *Food Chemistry*, vol. 163, no. 15, pp. 23-30, 2014.
- [15] I. Gutiérrez Rojas, N. Moreno Sarmiento and D. Montoya. "Mecanismos y regulación de la hidrólisis enzimática de celulosa en hongos filamentosos: casos clásicos y nuevos modelos". *Revista Iberoamericana de Micología*, vol. 32, no. 1, pp. 1-12, 2015.
- [16] J. S. Van Dyk and B.I.Pletschke. "A review of lignocellulose bioconversion using enzymatic hydrolysis and synergistic cooperation between enzymes - Factors affecting enzymes, conversion and synergy". *Biotechnology Advances*, vol. 30, no. 6, pp. 1458-1480, 2012.
- [17] P. Naknaen, T. Itthisoponkul, A. Sondée and N. Angsombat. "Utilization of watermelon rind waste as a potential source of dietary fiber to improve health promoting properties and reduce glycemic index for cookie making". *Food Science and Biotechnolog*, vol. 25, no. 2, pp. 415–424, 2016.
- [18] T. Prakongpan, A. Nitithamyong and P. Luangpituksa. "Extraction and application of dietary fiber and cellulose from pineapple cores". *Journal of Food Science*, vol. 67, no. 4, pp, 1308–1313, 2002.
- [19] A. L. Púa, G. E. Barreto, J. L. Zuleta and O. D. Herrera. "Nutrient analysis of taro root *Colocasia esculenta*, L. Schott in the dry tropics of Colombia". *Información tecnológica*, vol. 30, no. 4, pp, 69–76, 2019.
- [20] G. Bazán Aliaga, R. Gabrielli González, D. Acosta Chinchayhuara and J. A. Rojas Castillo. "Galletas de buena aceptabilidad a base de harina de arroz *Oriza sativa* y harina de papa *Solanum tuberosum* var. parda pastosa". *Agroindustrial Science*, vol. 5, no. 1, pp, 69-75, 2015.
- [21] J. L. Cedeño Reyes and J. B. Zambrano Delgado. "Cáscaras de piña y mango deshidratadas como fuente de fibra dietética en producción de galletas". Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Manuel Félix López, Calceta, Ecuador, 2014.
- [22] K. B. Sadal, S. B. Dabhade and Bornare. "Development and quality evaluation of Pineapple Pomace Powder fortified biscuits". *International Journal of Chemical Studies*, vol. 6, no. 4, pp. 1019-1023, 2016.
- [23] D. A. Kuldip, L. Aditya and S. Akash. "Development and quality evaluation of pineapple pomace and wheat bran fortified biscuits". *International Journal of Research in Engineering and Advanced Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 2320 – 8791, 2014.
- [24] M. Thivani, T. Mahendran and M. Kanimoly. "Study on the physico-chemical properties, sensory attributes and shelf life of pineapple powder incorporated biscuits". *Ruhuna Journal of Science*, vol. 7, no. 2, pp. 32-42, 2016.
- [25] N. Rao Galla, P. Rao Pamidighantam, B. Karakala, M. Rudrayya Gurusiddaiah, S. Akula. "Nutritional, textural and sensory quality of biscuits supplemented with spinach (*Spinacia oleracea* L.). *International Journal of Gastronomy and Food Science*, vol. 7, pp. 20-26, 2017.
- [26] E. L. Aquino Ruiz. "Elaboración de galletas de sal utilizando harina de trigo (*Triticum aestivum*) nacional de la variedad INIAP – COJITAMBO, con suplementos parciales de

- harina de trigo importado. Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Ambato, San Juan Bautista de Ambato, Ecuador, 2013.
- [27] N. Soler Martínez, O. Castillo Ruíz, G. Rodríguez Castillejos, A. Perales Torres, A. González Pérez. "Análisis proximal, de textura y aceptación de las galletas de trigo, sorgo y frijol". Archivos Latinoamericanos de Nutrición, vol. 67, no. 3, pp. 227-233, 2017.
- [28] N. Escobar Moreno. "Evaluación del comportamiento de la fibra soluble como compuesto bioactivo, adicionada en productos horneados de panadería y bizcochería". Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. 2012.
- [29] J. Park, I. Choi and Y. Kim. "Cookies formulated from fresh okara using starch, soy flour and hydroxypropyl methylcellulose". Food Science and Technology, vol. 63, pp. 660-663, 2015.
- [30] B. Baños Espíndola and N. Güemes Vera. "Caracterización reológica de masas de harina de trigo, adicionadas con fibra soluble" Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo de Bravo, Hidalgo. 2007.

Comportamiento de nanodispersión y térmico de sistemas ternarios Hule Natural/Arcilla/Dióxido de titanio

Mario Valera-Zaragoza^{1*}, Asunción Yescas-Yescas², Miguel Ángel García-Muñoz³

¹Centro de Investigaciones Científicas, Instituto de Química Aplicada, Universidad del Papaloapan,

²Licenciatura en Ciencias Químicas, Universidad del Papaloapan,

³Centro de Investigaciones Científicas, Instituto de Biotecnología, Universidad del Papaloapan.

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El presente estudio trata sobre las características morfológicas y térmicas obtenidas en la formación de nanocompuestos de Hule Natural/Arcilla/Dióxido de titanio (HN/A/TiO₂) obtenidos mediante un proceso de mezclado mecánico en látex. Se estudiaron las concentraciones de arcilla del 4% y de TiO₂ del 3%. En algunos casos de caracterización se analizó también la concentración de 1% de TiO₂. Se utilizaron las técnicas de caracterización de microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis termogravimétrico (TGA). Los resultados mostraron una buena distribución de aglomerados de arcilla menores a 5 μm y una alta distribución-dispersión de agregados de TiO₂ con promedio de 400 nm sobre la matriz de hule natural. El estudio térmico mostró que los componentes inorgánicos (arcilla y TiO₂) generan una mayor estabilidad térmica o protección al calor a las macromoléculas del polímero natural y que el comportamiento de degradación es dependiente de la velocidad de calentamiento.

Palabras clave: Nanodispersión, hule natural, análisis térmico, nanopartículas

Abstract

The present study deals with the morphological and thermal characteristic obtained in the formation of Natural Rubber/Clay/Titanium Dioxide (NR/C/TiO₂) nanocomposites obtained through a mechanical blending process in latex. Clay concentrations of 4% and TiO₂ of 3% were studied. In some characterization cases, the concentration of 1% TiO₂ was also analyzed. The characterization techniques of scanning electron microscopy (SEM) and thermogravimetric analysis (TGA) were used. The results showed a good distribution of clay agglomeration smaller than 5 μm and a high distribution-dispersion of TiO₂ aggregates with an average of 400 nm on the natural rubber matrix. The thermal study showed that the inorganic components (clay and TiO₂) generate greater thermal stability or heat protection to the macromolecules of the natural polymer and that the degradation behavior is dependent on the heating rate.

Key words: Nanodispersion, natural rubber, thermal analysis, nanoparticles

Introducción

Los nanocompuestos poliméricos han sido desarrollados ampliamente, debido a que se conjuntan las propiedades viscoelásticas y mecánicas de los polímeros y las características de las partículas que son nanodispersadas en el polímero. Dentro de este tipo de nanomateriales están aquellos que incorporan arcillas como el agente dispersante y reforzante nanométrico. Generalmente, las arcillas utilizadas en la formación de nanocompuestos poliméricos pertenecen a la familia 2:1 silicatos, donde cada arcilla es un sistema compuesto de láminas apiladas y cada lámina contiene dos capas de óxido de silicio y una capa intermedia de hidróxido de aluminio. Los lados de cada lámina son de alrededor de 100 nm y el espesor es de 1 nm [1]. Estas láminas se apilan de forma natural y como consecuencia forman aglomerados o apilados de dimensiones en micras. La estrategia para obtener nanocompuestos poliméricos consiste en dispersar a la arcilla en láminas individuales (exfoliación) o al menos en láminas intercaladas con macromoléculas del polímero (intercalación) [2].

Por otro lado, otro tipo de nanocompuestos poliméricos incluye aquellos donde se dispersan nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2) sobre una matriz polimérica [3]. El TiO_2 es un compuesto semiconductor que ha sido muy utilizado industrialmente, debido a sus propiedades fotocatalíticas [4]. Este compuesto puede estar constituido en tres formas cristalinas, siendo más estables anatasa y rutilo. A pesar de que el TiO_2 comercial puede estar integrado por partículas con tamaños entre 20 y 40 nm, debido a las atracciones inter-partícula, las partículas de TiO_2 forman agregados. Por lo tanto, una de las intenciones más importantes para desarrollar nanocompuestos es hacer que las atracciones inter-partícula se rompan para obtener nanodispersiones individuales de las partículas de TiO_2 sobre la matriz polimérica. Para lograr que tanto la arcilla como TiO_2 pueden dispersarse en orden nanométrico sobre una matriz polimérica. Se utilizan procesos donde se generen esfuerzos cortantes provocados por un husillo (en el caso de polímeros termoplásticos) o por una propela (en el caso de polímeros semi-líquidos) para facilitar la separación de nanoláminas de arcilla o de nanopartículas de TiO_2 , y con ello, la dispersión de ambos componentes en la matriz polimérica. Algunos autores han publicado trabajos sobre la formación de nanocompuestos de arcilla y TiO_2 , utilizados preferentemente por su actividad fotocatalítica en degradación de compuestos orgánicos [5,6]

Por lo anterior, el presente trabajo muestra los resultados del estudio de dispersión de arcilla y TiO_2 sobre la matriz polimérica de hule natural (HN), con la intención de fortalecer las propiedades del HN. Además, se muestra también la respuesta a la degradación térmica de los compuestos formados. Este trabajo es complementario de un reporte previo [7]

Metodología

Materiales

Se utilizó hule natural extraído en forma de látex de árboles *Hevea brasiliensis* cultivados dentro de las instalaciones de la Universidad del Papaloapan. Se utilizó una arcilla organomodificada tipo montmorillonita adquirida de Southern Clay Co. El TiO_2 utilizado fue el denominado P25 adquirido de Degussa Co., con alto contenido de la forma estructural anatasa. Se utilizó también glicerol como agente dispersante, adquirido de Sigma-Aldrich.

Preparación y Desarrollo

Los materiales nanocompuestos fueron obtenidos mediante mezclado mecánico en látex, utilizando un mezclador mecánico IKA RW20 DSI Digital y una propela con una configuración geométrica especial de 18 dientes colocados alternativamente para generar altos esfuerzos cortantes. Previamente, los polvos inorgánicos de arcilla y TiO_2 fueron dispersados en glicerol para facilitar el mezclado mecánico con el látex. El proceso de mezclado mecánico se realizó durante 3 h a 1000 rpm. El contenido de arcilla utilizado fue de 4% y el de TiO_2 fue de 3%. Para algunas pruebas, también se utilizó un contenido de 1% de TiO_2 . Una vez obtenidos los materiales se caracterizaron mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) en un microscopio NNSEM 200 a un voltaje de 10 kV y mediante análisis termogravimétrico en un analizador térmico simultáneo STA 6000 de Perkin Elmer, bajo una atmosfera de N_2 .

Resultados y discusión

Caracterización morfológica

La Figura 1 muestra micrografías obtenidas por SEM del nanocompuesto ternario HN/Arcilla/ TiO_2 . Mientras que a bajas magnificaciones (Figura 1a) solo es posible ver la fase continua de HN y aglomerados, preferentemente de arcilla con dimensiones variables, tal como se muestra en el recuadro. A mayores magnificaciones, tal como se muestra en la Figura 1b, es posible observar tanto a un aglomerado de arcilla (indicado con la flecha) como a partículas de TiO_2 en forma de agregados, es decir, partículas que están unidas con otras, pero no en altas cantidades. De hecho, en la magnificación de la Figura 1c claramente se observan agregados relativamente pequeños de TiO_2 (marcados con la flecha) bien dispersados en la matriz de HN. Dado que las partículas de TiO_2 son del orden de 25 a 35 nm, lo que se observa a la magnificación de 13,000 x son agrupaciones de algunas nanopartículas. Esto no implica que no existan nanopartículas solas o aisladas, solo que se requiere una mayor magnificación para observarlas. La misma situación ocurre con las láminas de arcilla, a pesar de

haber aglomerados (apilados) de arcilla de tamaño micrométrico (interior del recuadro de la Figura 1a y Figura 1b) pueden existir láminas individuales, que por su tamaño nanométrico no se alcancen a ver a estas magnificaciones.

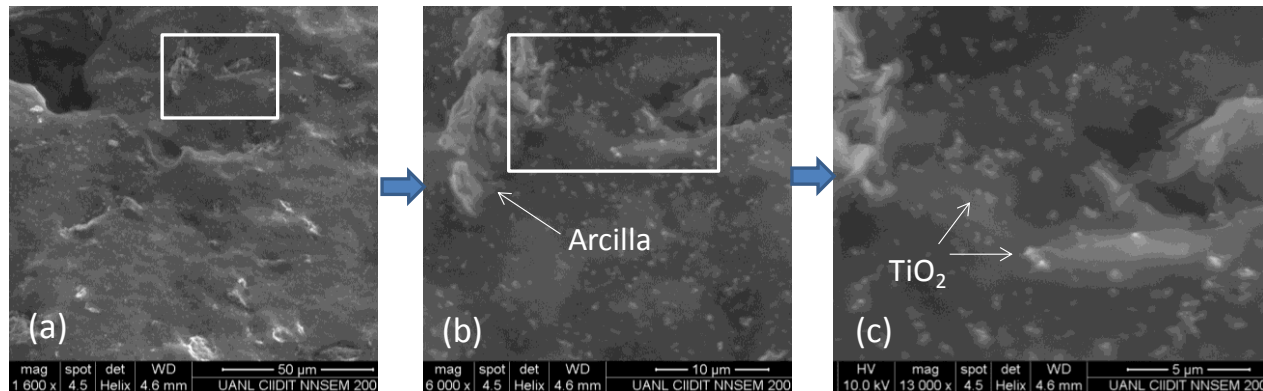


Figura 1. (a) Micrografía obtenida por SEM del nanocompuesto HN/Arcilla/TiO₂. (b) y (c) muestran magnificaciones de la zona marcada en los recuadros.

Dispersión de partículas

Con el fin de analizar la dispersión de los aglomerados de la arcilla y de los agregados de TiO₂, en la Figura 2a se muestra el porcentaje de aglomerados de la arcilla en función del contenido de TiO₂, comparando tamaños de los aglomerados mayores y menores de 5 µm. Como se puede ver a un contenido del 1% de TiO₂ es más probable obtener aglomeraciones de arcilla de menor tamaño. Esto es, a menor contenido de TiO₂ ocurre una mayor posibilidad de que los esfuerzos cortantes dados por la propela y las condiciones de mezclado favorezcan el rompimiento de la arcilla. Es sabido que al incrementar esfuerzos cortantes hasta un cierto grado, durante el procesamiento de nanocompuestos poliméricos, es factible la nanodispersión de láminas de arcilla hasta la obtención de apilados nanométricos con láminas parcialmente separadas (intercalación) o láminas individuales de arcilla (exfoliación) [8]. Como consecuencia, cualquier medio mecánico que permita el rompimiento de aglomerados (apilados) de arcilla puede favorecer la separación de las láminas. En un trabajo previamente reportado utilizamos el método alternativo de molienda mecánica de alta energía para separar láminas de arcilla [9].

Por lo general, las arcillas organomodificadas, como la de este trabajo, son más fáciles de separar en láminas o intercalar con las cadenas del polímero cuando se utilizan polímeros termoplásticos polares y sistemas de procesamiento tales como un extrusor [10]. Contrariamente, en mezclas con polímeros naturales, como lo es el hule natural, es más complicada la separación de las láminas de la arcilla [11]. De hecho, los resultados aquí mostrados son satisfactorios para una mezcla homogénea de hule natural con arcilla organomodificada, ya que el tamaño de la arcilla disminuyó considerablemente desde alrededor de 100 µm a menos de 5 µm. No obstante, es importante notar en la Figura 2a que sin presencia de TiO₂ el tamaño de aglomerados de arcilla es mayor. Es decir, que el TiO₂ favorece los impactos en el mezclado y con ello, provoca la disminución del tamaño de aglomerados de arcilla, pero a contenidos mayores de TiO₂ se genera cierto impedimento de impacto con la arcilla (amortiguación) que aún cuando disminuye el tamaño de los aglomerados, no lo hace tan eficiente como a bajo contenido de TiO₂.

La Figura 2b muestra el porcentaje de agregados de nanopartículas de TiO₂ en función del tamaño nanométrico. Los agregados de partículas de TiO₂ están en el rango de tamaño de 200 a 800 nm. Esto implica que cada agregado de partículas de TiO₂ contiene como mínimo 8 nanopartículas y como máximo 32 nanopartículas. De acuerdo a la Figura 2b, existe un mayor porcentaje de agregados con el tamaño de 400 nm. Es decir, si se considera un tamaño promedio de partícula de 25 nm, entonces, se tendrá en promedio 16 partículas de TiO₂ unidas para formar cada agregado. Aun cuando no se tienen partículas individuales de TiO₂ nanodispersadas, los resultados muestran una eficiencia en la obtención de agregados de nanopartículas de TiO₂ altamente dispersados en HN, dado que el tamaño de dichos agregados y la cantidad de partículas que los forman son bajos. También es importante resaltar que los aglomerados de arcilla preferentemente son de tamaños menores a 5 µm.

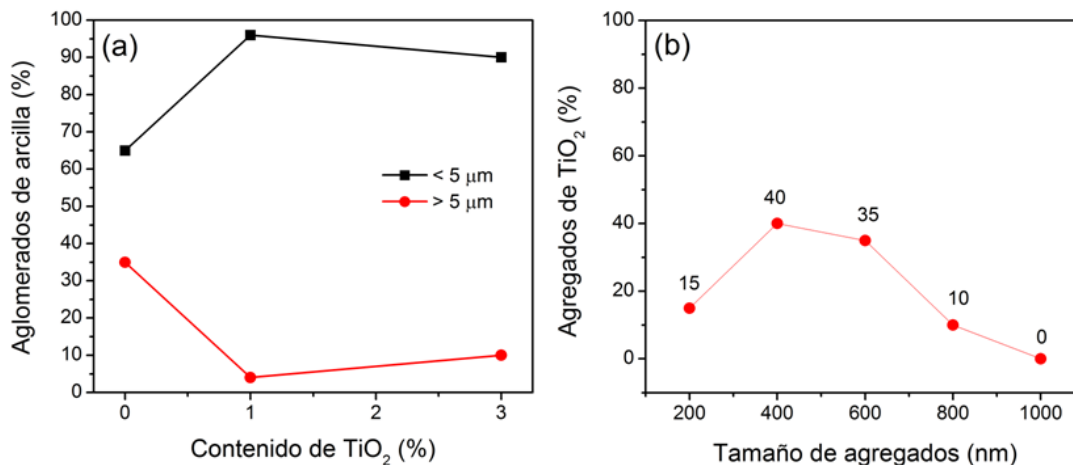


Figura 2. Diagramas de distribución de arcilla y TiO₂ en la matriz polimérica de HN. (a) Contenido de aglomerados de arcilla mayores y menores a 5 μm. (b) Tamaño de agregados de TiO₂ en el sistema HN/Arcilla/TiO₂.

La nanodispersión de componentes inorgánicos en una matriz polimérica es de mucha importancia, porque una alta nanodispersión provoca un incremento en diversas propiedades del material final, ya sean propiedades mecánicas, térmicas, de barrera a gases, de retardación a la flama, etc. Pero la nanodispersión depende principalmente de dos factores, el primero es la compatibilidad de los componentes, esto es, las posibles interacciones intermoleculares que ocurren entre los componentes de la mezcla. Generalmente, en la formación de nanocompuestos, las interacciones intermoleculares son interacciones débiles del tipo van der Waals, puentes de hidrógeno o interacciones electrostáticas [12]. Todo ello depende de las características estructurales de los componentes inorgánicos y del polímero que funciona como matriz. El segundo factor para una buena nanodispersión son las condiciones de mezclado, esto es; las variables como temperatura, velocidad de agitación, esfuerzos cortantes para la mezcla, tiempo de mezclado, etc. La Figura 3a muestra la dispersión de agregados de partículas de TiO₂ en el sistema ternario HN/Arcilla/TiO₂ y la Figura 3b muestra un esquema que describe al comportamiento distributivo y dispersivo en materiales compuestos [13]. De acuerdo a la imagen de la Figura 3a y la relación con el esquema distributivo y dispersivo, existe una buena distribución y dispersión de pequeños agregados de nanopartículas de TiO₂ en el sistema ternario HN/Arcilla/TiO₂. Tal como se indicó en el párrafo anterior, los agregados son de dimensiones nanométricas y contienen un número bajo de nanopartículas, en promedio menos de 20 nanopartículas por agregado. Contrariamente, con arcilla solo se alcanzó una buena distribución, pero una mala dispersión.

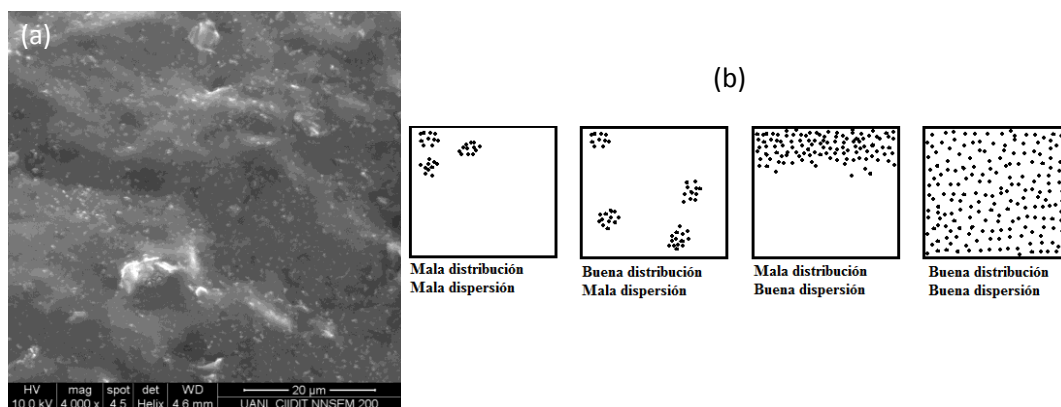


Figura 3. (a) Micrografía por SEM del nanocompuesto HN/Arcilla/TiO₂. (b) Representación esquemática de mezclas distributivas y dispersivas, adaptado de [13].

Comportamiento térmico

La Figura 4 muestra el análisis termogravimétrico de hule natural, hule natural con arcilla y del nanocompuesto HN/A/TiO₂. En el interior de la gráfica se muestran los resultados de la derivada de los datos de TGA. Claramente se observa que el HN permanece sin cambios hasta aproximadamente 350 °C, mientras que con arcilla y TiO₂ ocurre una pérdida constante de peso desde 100 °C. La pérdida de peso inicial corresponde a la volatilización de moléculas de agua contenidas en la arcilla (aproximadamente un 5%). Posteriormente, a una mayor temperatura cercana a 200 °C se degrada el compuesto orgánico glicerol, el cual fue utilizado como pre-dispersante. De acuerdo a la gráfica insertada, la temperatura de degradación promedio del HN y de los compuestos es 377 °C. Esta degradación corresponde al rompimiento de las cadenas macromoleculares del polímero natural. También se observa una pequeña curva de degradación a 412 °C, la cual forma parte de fragmentos parcialmente degradados o entrecruzados de las cadenas de hule natural, los cuales son más resistentes a la degradación térmica. Es también importante notar que mientras que el HN no genera residuos, los compuestos HN/A y HN/A/TiO₂ muestran componentes residuales de alrededor de 10%. Esto implica necesariamente la presencia de los componentes inorgánicos en el sistema. Es decir, la estabilidad térmica tanto de la arcilla como del TiO₂ es mayor que la temperatura de prueba.

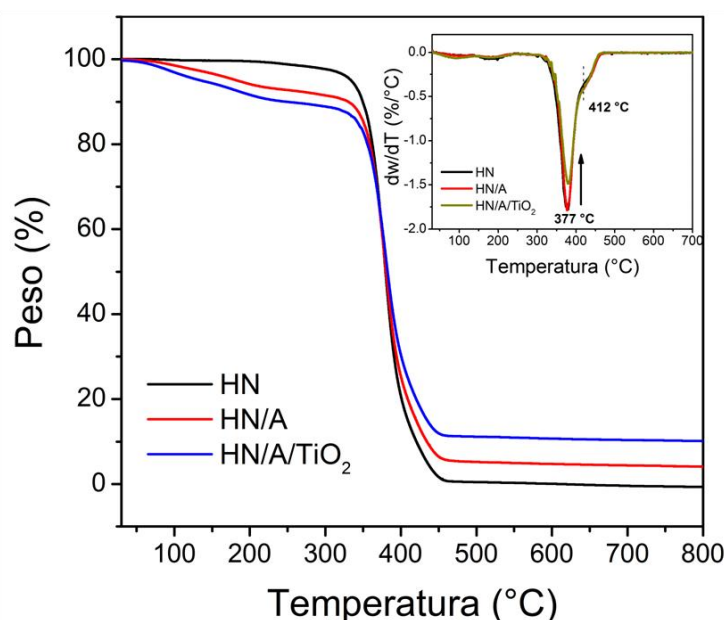


Figura 4. Curvas de pérdida de peso de hule natural solo, con arcilla y en el nanocompuesto HN/A/TiO₂. Recuadro. Derivadas de la pérdida de peso de las mismas muestras.

La Figura 5 muestra la relación de cambio de peso entre el nanocompuesto HN/A/TiO₂ y el compuesto HN/A a las temperaturas de degradación indicadas. Para este estudio se consideraron dos sistemas, el primero con 1% de TiO₂ y el segundo con 3% de TiO₂. El análisis no toma en cuenta la degradación de las moléculas volátiles o que se degradan a baja temperatura, sino únicamente los cambios ocurridos en la etapa de degradación de las cadenas macromoleculares del HN. El estudio inicia desde la temperatura onset (T_{onset}) de degradación, a 350 °C. Esta temperatura permanece invariable para cualquiera de los contenidos, no así las demás temperaturas de degradación. No obstante, los cambios importantes ocurren desde 450 °C en adelante. La relación de peso es aproximadamente 1.8 veces a la temperatura de 450 °C a un contenido de 3% de TiO₂ en el sistema nanocompuesto HN/A/TiO₂. Esto corrobora lo observado en las curvas de degradación obtenidas en el análisis termogravimétrico (ver Figura 4), donde hay evidencia de cambios en el comportamiento degradativo de las macromoléculas de HN por la presencia de los componentes inorgánicos. Tanto la arcilla como el TiO₂ favorecen la estabilidad térmica del HN, dado que funcionan como una barrera al calor para las cadenas macromoleculares del polímero natural.

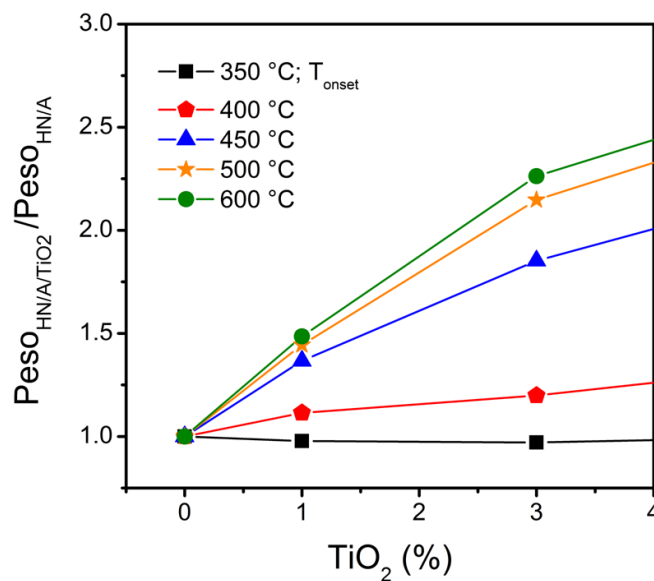


Figura 5. Relación de peso del nanocompuesto HN/A/TiO₂ con el compuesto HN/A. Se consideran las temperaturas de degradación indicadas.

La Figura 6 es un estudio del comportamiento degradativo en función de la velocidad de calentamiento del nanocompuesto HN/A/TiO₂ comparando con el compuesto HN/A y con el HN solo, considerado a una temperatura de degradación de 400 °C. De acuerdo a los resultados, a menor velocidad de calentamiento (5 °C/min) ocurre una mayor degradación de las cadenas macromoleculares (mayor pérdida de peso). Este comportamiento está directamente ligado con la homogeneidad del fenómeno de degradación, dado que la prueba ocurre relativamente más lento. Es también notorio, tal como se indicó en la Figura 5 que los componentes inorgánicos aportan estabilidad térmica a las macromoléculas de HN, independientemente de la velocidad a la que se haga la prueba. Preferentemente, la presencia de TiO₂ favorece la estabilidad térmica. Este comportamiento puede ser adjudicado a la mayor nanodispersión de los agregados de TiO₂. Es decir, entre más pequeñas sean las partículas y mejor estén dispersadas mayor será la protección térmica.

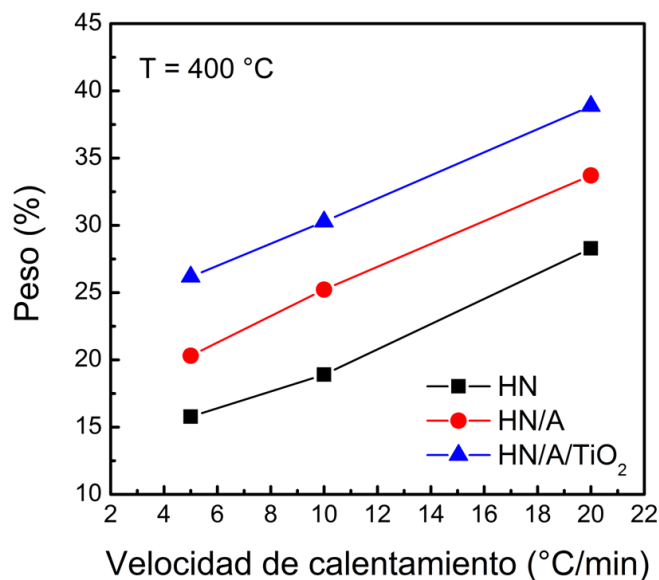


Figura 6. Comportamiento de degradación a 400 °C en función de la velocidad de calentamiento.

Trabajo a futuro

El hule natural es muy utilizado para la producción de diversos productos, especialmente, en la industria automotriz. Por lo tanto, los materiales de hule natural con nanopartículas incluidas potencializan las capacidades de los productos de hule. Aun cuando en este trabajo se ha logrado la dispersión de aglomerados pequeños de arcilla y de agregados finos de TiO_2 , falta lograr dicha dispersión a láminas individuales de arcilla y nanopartículas de TiO_2 . Como consecuencia, se continúa en la búsqueda del proceso que permita la total dispersión de nanopartículas en la matriz polimérica de hule para obtener nanomateriales de amplia utilidad.

Conclusiones

Se obtuvieron materiales nanocompuestos de HN/A/ TiO_2 mediante mezclado en látex, con características morfológicas de agregados de TiO_2 nanométricos, en promedio de 400 nm, y aglomerados de arcilla con tamaños menores a 5 μm , ambos dispersados eficientemente en la matriz de hule natural. El estudio termogravimétrico mostró un incremento en la estabilidad térmica de la degradación de las cadenas macromoleculares de HN, debido a la presencia de los componentes inorgánicos. Tal como se esperaba, la velocidad de calentamiento afecta la degradación térmica del sistema y permite evidenciar mayormente el efecto de los componentes inorgánicos agregados.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por CONACyT a través del proyecto CB-82726. También se agradecen los estudios por SEM del CIIDIT-UANL.

Referencias

- [1] F. Uddin, "Montmorillonite: An introduction to properties and utilization," Chapter 1 in Current topics in the utilization of clay in industrial and medical applications, *IntechOpen*, pp. 3-23, 2018.
- [2] Y. Zare, K. Y. Rhee, "Multistep modeling of Young's modulus in polymer/clay nanocomposites assuming the intercalation/exfoliation of clay layers and the interphase between polymer matrix and nanoparticles," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 102, pp. 137-144, 2017.
- [3] C. Cazan, A. Enesca, L. Andronic, "Synergic effect of TiO_2 filler on the mechanical properties of polymer nanocomposites," *Polymers*, vol. 13, no. 12, pp. 1-24, 2017.
- [4] K. Nakata, A. Fujishima, " TiO_2 photocatalysis: Design and applications," *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, vol. 13, no. 3, pp. 169-189, 2012.
- [5] B. Szczepanik, "Photocatalytic degradation of organic contaminants over clay- TiO_2 nanocomposites: A review," *Applied Clay Science*, vol. 141, no. 1, pp. 227-239, 2017.
- [6] M. O. Alfred, M. O. Omorogie, O. Bodede, R. Moodley, A. Ogunlaja, O. G. Adeyemi, C. Günter, A. Taubert, L. Lermak, H. Eckert, I. D. A. Silva, A. S. S. de Camargo, A. J. Motheo, S. M. Clarke, E. I. Unuabonah, "Solar-active clay- TiO_2 nanocomposites prepared via biomass assisted synthesis efficient removal of ampicillin, sulfamethoxazole and artemether from water," *Chemical Engineering Journal*, vol. 398, no. 15, pp. 125544, 2020.
- [7] M. Valera-Zaragoza, A. Yescas-Yescas, E. A. Juárez-Arellano, A. Aguirre-Cruz, A. Aparicio-Saguilán, E. Ramírez-Vargas, S. Sepúlveda-Guzmán, S. Sánchez-Valdes, "Immobilization of TiO_2 nanoparticles on montmorillonite clay and its effect on the morphology of natural rubber nanocomposites," *Polymer Bulletin*, vol. 71, pp. 295-1313, 2014.
- [8] E. Ramírez-Vargas, M. Valera-Zaragoza, S. Sánchez-Valdes, J. S. Hernández-Valdez, F. F. Ibarra-Castillo, "Effect of processing conditions on the structural morphology of PP-EP/EVA/organoclay ternary nanocomposites," *Polymer Bulletin*, vol. 62, pp. 391-403, 2009.
- [9] M. Valera-Zaragoza, D. Agüero-Valdez, M. Lopez-Medina, S. Dehesa-Blas, A. K. Navarro-Mtz, M. Avalos-Borja, E. A. Juárez-Arellano, "Controlled modification of sodium montmorillonite clay by a planetary ball-mill as a versatile tool to tune its properties," *Advanced Powder Technology*, vol. 32, pp. 591-599, 2021.
- [10] F. R. Passador, A. Ruvolo-Filho, L. A. Pessan, "Nanocomposites of polymer matrices and lamellar clays," in *Nanostructures*, pp. 187-207, 2017.
- [11] L. Bokobza, "Natural rubber nanocomposites: A review," *Nanomaterials*, vol. 9, no. 1, pp. 12, 2021.

- [12] C. I. Idumah, C. M. Obele, "Understanding interfacial influence on properties of polymer nanocomposites," *Surfaces and Interfaces*, vol. 22, pp. 100879, 2021.
- [13] L. F. Ramos, S. Sánchez, "Vulcanización y formulación de hules," *Edit. Limusa*, pp. 148, 2009.

PRODUCCIÓN COMBINADA DE AROMAS Y BIOCOMBUSTIBLES, UNA PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DEL LACTOSUERO

Ana Elvia Magdaleno Cruz¹, Alejandro Chacón Izquierdo¹, Antíoco López Molina¹,
Carolina Conde Mejía^{1*}.

¹División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco., Jalpa de Méndez, Tabasco, México.

*carolina.conde@ujat.mx

Resumen

Se ha diseñado un proceso para el uso del lactosuero como materia prima de la producción de bioetanol y 2-feniletanol (2-PE). El lactosuero es un subproducto, derivado de la fabricación del queso, que conserva muchos de los nutrientes de la leche y una alta concentración de lactosa. El proceso fue implementado en el simulador Aspen plus V.10, el cual consta de 3 secciones, la fermentación, la separación del 2-PE y la separación del bioetanol. La separación del 2-PE se basó en un proceso de extracción líquido-líquido, usando como solvente al ácido oleico. La separación del bioetanol se basó en un proceso de destilación extractiva, donde se usó al glicerol como solvente. De acuerdo con el diseño del proceso los porcentajes de recuperación y pureza, en porcentaje masa, alcanzados para el 2-PE fueron 99.41% y 99.76%, respectivamente. Mientras que, para el bioetanol se obtuvo una recuperación del 86.21% y una pureza de 99.51%, en base masa. El costo de operación por kg de 2-PE, que incluye las utilidades para la fermentación y la separación del 2-PE, resultó en \$0.94 kg⁻¹. El costo de operación para el bioetanol, que incluye las utilidades de su separación, resultó en un valor de \$0.23 gal⁻¹.

Palabras claves: Lactosuero, biocombustibles, aromas, biorrefinería.

Abstract

A process has been designed for the use of whey as a feedstock for the production of bioethanol and 2-phenylethanol (2-PE). Whey is a by-product, derived from cheese manufacturing, which retains many of the nutrients of milk and a high concentration of lactose. The process was implemented in the Aspen plus V.10 simulator, which consists of 3 sections, fermentation, 2-PE separation and bioethanol separation. The 2-PE separation was based on a liquid-liquid extraction process, using oleic acid as solvent. The separation of bioethanol was based on an extractive distillation process, where glycerol was used as solvent. According to the process design, the recovery and purity percentages, in mass percentage, achieved for 2-PE were 99.41% and 99.76%, respectively. Meanwhile, for bioethanol, a recovery of 86.21% and a purity of 99.51%, on a mass basis, were obtained. The operating cost per kg of 2-PE, which includes the utilities for fermentation and 2-PE separation, was \$0.94 kg⁻¹. The operating cost for bioethanol, which includes separation utilities, was \$0.23 gal⁻¹.

Introducción

Las emisiones contaminantes hacia el agua, el aire y el suelo afectan directa e indirectamente la calidad de vida de los seres humanos y de los otros seres vivos. En México una de las principales fuentes de contaminación al suelo y agua son los desechos orgánicos provenientes de la industria láctea, la cual genera grandes volúmenes de desechos. El lactosuero es el co-producto más abundante de dicha industria, que resulta de la precipitación y la remoción de la caseína de leche durante la elaboración del queso; aproximadamente el 90% del total de la leche utilizada en la industria quesera es eliminada como lactosuero. Es un subproducto cargado de materia orgánica con gran potencial de riesgo ambiental, contiene cerca del 55% del total de ingredientes de la leche como la lactosa, proteínas solubles, lípidos y sales minerales las cuales generan aproximadamente (30-50 g L⁻¹) de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y (60-80 g L⁻¹) de Demanda Química de Oxígeno (DQO)[1]. Sus características físicas y químicas varían de acuerdo a la calidad y tipo de leche, así como de los procesos empleados para la obtención de los quesos, siendo algunas veces un líquido claro de color amarillo verdoso translucido u otras veces se torna de color un poco azulado. Al mismo tiempo, sus características impiden su

comercialización directa como suero líquido y es de difícil aceptación en el mercado. Es por ello que se han buscado alternativas para el aprovechamiento de este residual. Con base en los nutrientes y características que posee, el lactosuero puede ser empleado en procesos bioquímicos a través de la fermentación, donde algunos microorganismos tienen la capacidad de producir metabolitos de valor agregado. Dentro de estos productos está el etanol y el 2-PE.

El etanol (bioetanol) que se obtiene a partir de la fermentación del lactosuero se puede purificar para ser empleado como biocombustible. Como biocombustible el etanol es ampliamente utilizado en medios de transporte terrestre en países como Brasil y Estados Unidos; en estos países se produce utilizando materias primas de primera generación como la caña de azúcar y el maíz [2]. En muchos otros países, como es el caso de México, existe escasez de este tipo de materias primas y no está permitido su uso en la obtención de energéticos. En cambio, el lactosuero siendo un residual abundante con alto contenido de azúcares puede ser una materia prima de gran potencial para la obtención de bioetanol por medio de fermentación. En comparación con otras materias primas de tipo residual para biocombustibles, como los materiales lignocelulósicos, el lactosuero no requiere complicados procesos de pretratamiento y se encuentra disponible durante todo el año [3]. Además de la fermentación para la obtención de bioetanol se requiere una secuencia de separación y purificación, comúnmente integrada por varias etapas de destilación. Este proceso de separación contribuye a que el costo de obtención de bioetanol sea elevado. Para garantizar la rentabilidad de los procesos de producción de biocombustibles se recomienda combinar su producción con la obtención de productos de valor agregado [4, 5]. Esto es posible en el proceso de fermentación del lactosuero con levadura *Kluyveromyces marxianus*; donde, varios estudios experimentales han demostrado la capacidad de este microorganismo para la producción simultánea de bioetanol y 2-PE [1]. El 2-PE es un compuesto que se caracteriza por su agradable olor a rosas, y tiene un alto valor en el mercado cuando su origen es natural [6]. Este aroma es utilizado en la industria alimentaria para la modificación de las composiciones organolépticas (olor, sabor, textura, color) de fórmulas frutales, helados, dulces, bebidas sin alcohol. En la industria farmacéutica tiene aplicación como anestésico local y antiséptico y también es utilizado en la elaboración de perfumes y cosméticos [7]. La fermentación es considerada una alternativa para la obtención natural de 2-PE

Dadas las potenciales ventajas de la producción simultánea de bioetanol y 2-PE por medio de fermentación de lactosuero, el objetivo de este trabajo es diseñar un proceso que permita transformar el lactosuero en estos dos productos de interés para incrementar la cadena de valor de la industria láctea y disminuir el impacto ambiental que las emisiones desmedidas de lactosuero generan.

Metodología

El diseño del proceso para la transformación del lactosuero en 2-PE y bioetanol consta de tres etapas: la etapa de producción, donde se lleva a cabo el proceso de fermentación del lactosuero para convertir la lactosa en el 2-PE y bioetanol; la etapa de separación y purificación del 2-PE basada en extracción líquido-líquido; y la etapa de concentración y deshidratación del etanol a partir de la corriente de refinado, donde se obtiene al etanol con las características de un biocombustible. El diseño de este proceso se implementó en el simulador ASPEN PLUS V10. A partir de los resultados de la simulación se evaluaron algunos aspectos económicos.

Etapa de Fermentación

Para la alimentación en el proceso, se consideró un flujo másico de 8322.03 kg h⁻¹ de lactosuero, con porcentajes máxicos de agua y lactosa igual a 94.80% y 5.20%, respectivamente. La alimentación pasa por una serie de intercambiadores de calor para el pasteurizado del lactosuero, esto es para poder eliminar microorganismos presentes que pudieran intervenir en la fermentación. En el primer intercambiador de calor, la corriente alcanza una temperatura de 63°C y en el segundo decrece a 30°C. La corriente ingresa al fermentador y se mezcla con el inóculo, el cual contiene los microorganismos responsables del proceso de fermentación. Las condiciones para el fermentador fueron 1 atm de presión y 30 °C de temperatura. Para simular el tanque de fermentación se usó un reactor R-Yield basado en los rendimientos experimentales reportados por Conde-Báez y col [1, 8]., para un sistema discontinuo. Durante los procesos de fermentación alcohólica se genera CO₂, por ello se implementó un tanque flash después del reactor, que opera a condiciones atmosféricas para separar la fase gaseosa. Para la simulación del tanque flash se empleó el modelo Flash2. La corriente líquida es enviada a una centrifuga para poder separar los sólidos presentes, para esta operación se usó el modelo CFuge. De la etapa de fermentación se obtiene una solución acuosa, con un flujo másico de 8058.87 kg h⁻¹ y una concentración en porcentaje masa de 2.23% de etanol y 0.08% de 2-PE.

Etapa de Purificación del 2-PE

Dada la baja concentración del 2-PE a la salida de la fermentación, no es recomendable realizar la separación en una columna de destilación convencional, por lo cual, la corriente es enviada a una torre de extracción líquido-líquido, usando el modelo Extract. Se definieron arbitrariamente 12 etapas para la columna de extracción y condiciones de operación de 1 atmósfera de presión y 30°C. Como solvente se seleccionó al ácido oleico dada su inmiscibilidad en agua, su afinidad por el 2-PE y su origen natural[6]. Se implementó un análisis de sensibilidad para poder determinar el solvente mínimo requerido, para lograr una recuperación del 99.99% del 2-PE. El equilibrio líquido-líquido de esta mezcla se predijo con el método termodinámico UNIFAC.

Durante el proceso de extracción el ácido oleico arrastra al 2-PE y sale por la corriente del extracto, quedando en la corriente de refinado el agua con el etanol. Esta corriente de refinado se envía a la etapa de separación de etanol. Continuando con la purificación del 2-PE el extracto entra a una columna de destilación convencional, en donde se separa el ácido oleico del 2-PE. El destilado de la columna, rico en 2-PE, pasa por una segunda torre de destilación, en donde se eleva la concentración del 2-PE a 99.76%, retirando las impurezas. La corriente de fondos de la primera columna contiene principalmente ácido oleico, esta corriente se acondiciona a la presión y temperaturas requeridas para poder recircularse a la columna de extracción.

Para las dos columnas de destilación se realizó un prediseño usando una aproximación basada en métodos cortos en la columna DSTWU. Se analizó la mejor relación de reflujo con respecto a las etapas teóricas; posteriormente, los datos obtenidos en el prediseño se usaron como datos iniciales en una columna basada en métodos rigurosos (RadFrac) en el simulador. Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad para encontrar la etapa de alimentación con el menor consumo de calor en el re-hervidor. Las dos columnas de destilación convencional fueron diseñadas con el método termodinámico UNIQU-HOC para la predicción del equilibrio líquido-vapor. Este sistema de separación para el 2-PE es similar al reportado por Chacón-Izquierdo y col.[6].

Etapa de deshidratación de bioetanol.

La corriente de refinado de la columna de extracción líquido-líquido se compone de una mezcla etanol-agua, con un flujo masico de 8046.41 kg h⁻¹ y una concentración en porcentaje masa de 2.20% de etanol. Esa corriente se alimenta a una columna de destilación convencional, en donde la mezcla se concentra hasta una composición cercana al azeótropo etanol-agua. La corriente de destilado de esta primera columna se envía a una columna de destilación extractiva, a la cual se le adiciona glicerol para separar al etanol del agua [9]. El etanol que sale por el destilado de la columna de destilación extractiva contiene trazas de CO₂, se envía a un tanque flash para lograr purificar más al etanol a un porcentaje masico de 99.51% con un flujo de 171.96 kg h⁻¹. Como producto de fondo se obtiene una mezcla de agua y glicerol, esta mezcla es separada en otra columna de destilación convencional, esto se hace con el fin de recuperar el agente de separación para volverlo a recircular a la columna de destilación extractiva.

Las 2 columnas de destilación convencional se diseñaron usando la misma metodología descrita en el apartado anterior, con los modelos DSTWU y RadFrac. Para el tanque flash también se usó el modelo Flash2. Para la columna de destilación extractiva la relación de flujo del solvente con respecto a la mezcla azeotrópica, la temperatura de alimentación del solvente, la etapa de alimentación del solvente y la relación de reflujo se definieron en base a datos reportados en la literatura[10]. Se realizaron varios análisis de sensibilidad en la columna para determinar el número de etapas teóricas, el número de la etapa de alimentación de la mezcla azeotrópica y el flujo del destilado. En esta secuencia de separación para el bioetanol se utilizó el método UNIFAC para la predicción del equilibrio líquido-vapor de las mezclas.

Parámetros económicos y de consumo de energía

Se estimó el costo de producción por kg de 2-PE, relacionando el costo de operación anual con el flujo masico anual de acuerdo con la ecuación (1). La estimación del costo de operación anual para la obtención del 2-PE incluyó las utilidades requeridas en el proceso de fermentación, y la secuencia de separación del 2-PE. Así mismo, se estimó el consumo de energía para la obtención del 2-PE, usando la ecuación (2).

$$\text{Costos} \frac{\text{USD}}{\text{kg}} = \frac{\text{Costo de operación} \frac{\text{USD}}{\text{Año}}}{\text{Flujo masico del producto} \frac{\text{kg}}{\text{Año}}} \quad (1)$$

$$\text{Consumo Energía} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = \frac{\text{Consumo de energía} \frac{\text{kJ}}{\text{hr}}}{\text{Flujo masico del producto} \frac{\text{kg}}{\text{hr}}} \quad (2)$$

En el caso del bioetanol se estimó su costo de producción por galón basado en las utilidades requeridas en la secuencia de separación y purificación del mismo, la cual incluyó las columnas de concentración, destilación extractiva y de recuperación del glicerol (ecuación 3). El consumo de energía se calculó considerando los consumos energéticos de estas tres columnas (ecuación 4).

$$\text{Costos} \frac{\text{USD}}{\text{galón}} = \frac{\text{Costo de operación} \frac{\text{USD}}{\text{Año}}}{\text{Flujo volumétrico del producto} \frac{\text{galón}}{\text{Año}}} \quad (3)$$

$$\text{Consumo Energía} \frac{\text{kJ}}{\text{galón}} = \frac{\text{Consumo de energía} \frac{\text{kJ}}{\text{hr}}}{\text{Flujo volumétrico del producto} \frac{\text{galón}}{\text{hr}}} \quad (4)$$

Resultados y discusión

En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo del proceso de transformación de lactosuero a bioetanol y 2-PE, de acuerdo con la descripción mostrada en la metodología. Este proceso se conformó por 6 intercambiadores de calor, un fermentador (RF), dos tanques flash (TF-1 y TF-2), una centrifuga (CT), una torre de extracción líquido-líquido (LLEC), 4 columnas de destilación convencional (DC-1 a DC-4) y una columna de destilación extractiva (DC-E). La Tabla 1 muestra las principales propiedades y datos de las corrientes del proceso. Entre las corrientes a resaltar dentro del diagrama se identifican la alimentación del lactosuero (LAC), la salida del fermentador (S-4), la alimentación del solvente a la columna de extracción líquido-líquido (S-17), el extracto (S-9) y el refinado (S-18). Después de las dos etapas de destilación el 2-PE se obtiene en la corriente llamada 2-PE con la pureza deseada. El destilado de la columna DC-3 (S-20) contiene la mezcla azeotrópica etanol-agua que pasa por el proceso de destilación extractiva, obteniéndose en la corriente S-22 etanol con impurezas de CO₂, que son liberadas; finalmente, el etanol con la composición deseada sale por los fondos del tanque TF-2 (ET).

Variables de diseño de las columnas de destilación

En la separación del 2-PE los resultados del diseño de las columnas de destilación (DC-1 y DC-2) se muestra en la Tabla 2. Para la columna DC-1 se obtuvieron un número total de 12 etapas, mientras que para la columna DC-2 fueron 18 etapas. La relación de reflujo fue de 0.3 y 0.0657 en las columnas DC-1 y DC-2 respectivamente. Estas características en las columnas permitieron una recuperación total en el proceso de 99.41% con un porcentaje masico de 99.76% del 2-PE, que sale por los fondos de la columna DC-2.

En la separación del bioetanol para la columna de preconcentración se obtuvieron 28 etapas con una relación de reflujo de 9. Para la columna de recuperación de glicerol fueron necesarias 25 etapas y una relación de reflujo de 0.0299. Para la columna de destilación extractiva, se utilizó una relación de alimentación (S/F) de 0.8, se obtuvieron un número de etapas de 24 con una relación de reflujo de 0.6, el solvente y la mezcla azeotrópica, se alimentaron en las etapas 4 y 16, respectivamente. Se logró una recuperación de 99.18% con un porcentaje en masa de 90.80% de etanol en la columna de destilación extractiva. Los datos completos se muestran en la Tabla 3. Con un flujo másico de 171.96 kg h⁻¹, se logró una recuperación de etanol en el proceso de 86.21% con un porcentaje en masa de 99.51%.

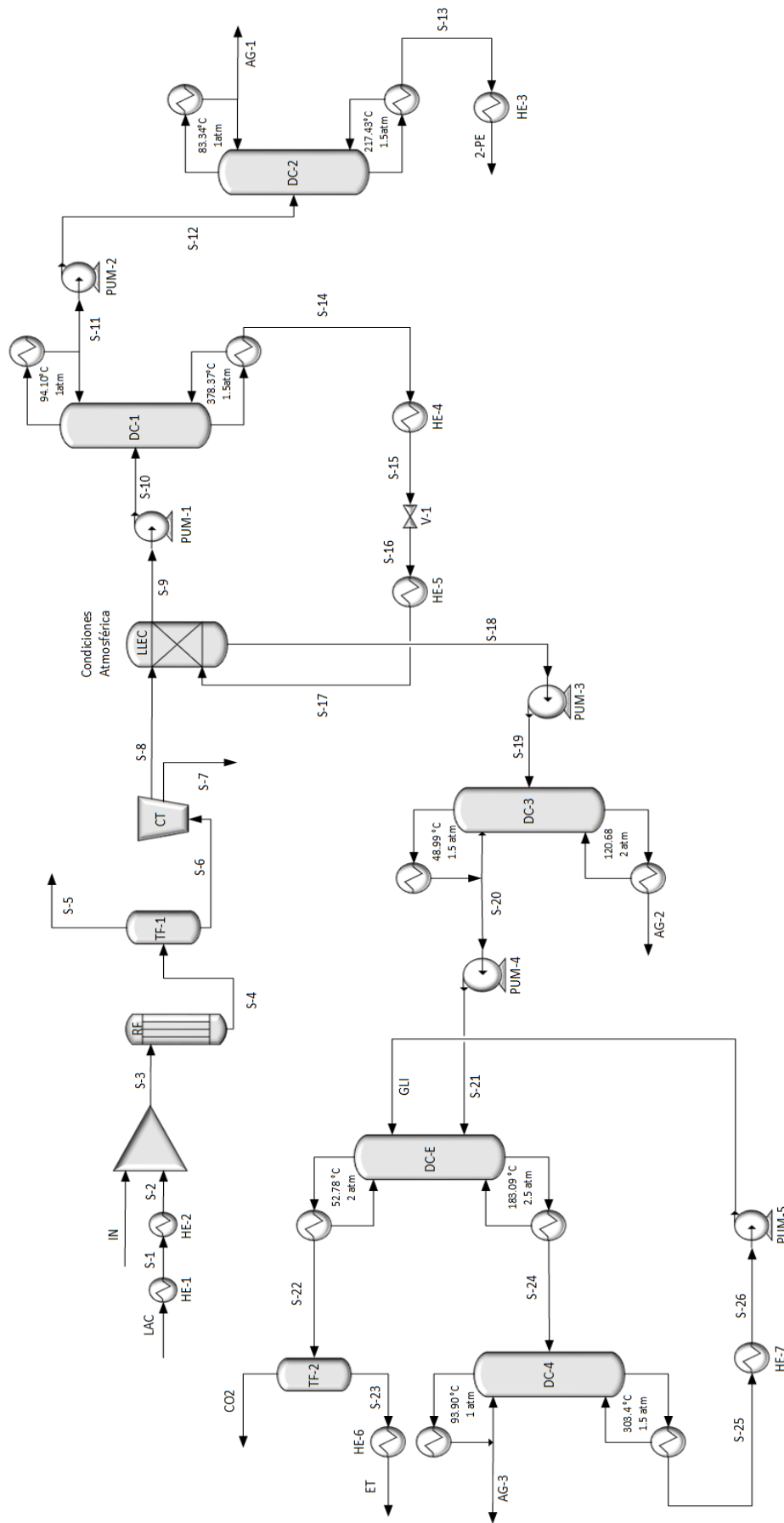


Figura 1. Proceso para la obtención de bioetanol y 2-PE a partir de lactosuero

Tabla 1. Datos de las corrientes del proceso

	S-2	IN	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-10	S-12	S-17
Temperatura (°C)	30.00	30.00	30.04	30.00	30.00	30.00	28.03	28.03	28.13	59.90	35.03
Presión (atm)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.60	1.60	1.00
Flujo Másico (kg h ⁻¹)	8322.03	4.38	8326.41	8326.41	211.36	8115.05	56.18	8058.87	222.45	12.47	209.98
Porcentaje Masa (%)											
Levadura	0.00	2.04	0.00	0.45	0.00	0.46	66.67	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	0.00	0.00	0.00	2.31	89.83	0.04	0.01	0.04	0.07	1.19	0.00
NH3	0.00	52.29	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Etanol	0.00	0.00	0.00	2.38	8.83	2.22	0.74	2.23	1.03	18.34	0.00
Agua	94.80	45.67	94.77	94.77	1.33	97.20	32.55	97.65	1.46	25.97	0.00
2-PE	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08	0.03	0.08	3.05	54.40	0.00
Ácido Oleico	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	94.40	0.11	100.00
Lactosa	5.20	0.00	5.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

	AG-1	2-PE	S-19	S-21	S-22	S-24	AG-2	GLI	CO2	AG-3	ET
Temperatura (°C)	39.92	35.00	32.45	49.19	52.78	180.08	120.68	75.00	86.00	92.17	35.00
Presión (atm)	1.00	1.50	2.20	3.00	2.00	2.50	2.00	3.00	2.00	1.00	1.00
Flujo Másico (kg h ⁻¹)	5.69	6.78	8046.41	195.05	178.65	171.40	7851.63	155.00	6.69	16.54	171.96
Porcentaje Masa (%)											
CO2	2.60	0.00	0.03	1.40	1.52	0.00	0.00	0.00	32.10	0.00	0.34
Etanol	40.20	0.00	2.20	90.80	98.32	0.85	0.01	0.00	67.78	8.80	99.51
Agua	56.87	0.04	97.76	7.80	0.15	8.72	99.99	0.00	0.12	90.10	0.16
Glicerol	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.43	0.00	100.00	0.00	1.09	0.00
2-PE	0.33	99.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ácido Oleico	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 2. Datos de las columnas en la etapa de purificación del 2-PE

Parámetros	Columna de Recuperación	Columna de Purificación
Número de etapas	12	18
Relación de reflujo	0.3	0.0657
Etapas de alimentación	8	10
Presión etapa superior(atm)	1	1
Caída de presión (atm)	0.5	0.5
Flujo masa de destilado (kg h ⁻¹)	12.47	6.78
Consumo de energía		
Rehervidor (kJ h ⁻¹)	209,184.06	12,951.56
Condensador (kJ h ⁻¹)	19,890.12	11,130.71

Tabla 3. Datos de las columnas en la etapa de deshidratación del Etanol

Parámetro	Columna de Preconcentración	Columna Extractiva	Columna de Recuperación
Numero de etapas	28	24	25
Relación de reflujo	9	0.6	0.0299
Etapas de alimentación	16	15	9
Etapas de alimentación solvente	-	4	-
Condensador	Total	Total	Total
Presión etapa superior (atm)	1.5	2	1
Caída de presión (atm)	0.5	0.5	0.5
Consumo de energía			
Rehervidor (kJ h^{-1})	324,215.00	324,215.00	83,159.10
Condensador (kJ h^{-1})	2,066,220.00	270,596.00	38,078.1

Resultados de parámetros de sustentabilidad

De acuerdo con los resultados del proceso, la producción anual de 2-PE obtenida fue de 59,427.81 kg año^{-1} , la estimación de costos de energía, servicios de enfriamiento y calentamiento fue de 55,854.77 USD año^{-1} . De acuerdo con la ecuación (1) se obtuvo que el costo por kg de 2-PE producido es de 0.94 USD. Para el bioetanol se obtuvo una producción de 505,283.14 Gal año^{-1} , con un costo de operación de 114,892.08 USD año^{-1} . Relacionando la producción y costo de operación, se obtiene que el costo por gal producido de etanol es de 0.23 USD.

El consumo de energía en el servicio de calentamiento para la obtención del 2-PE de acuerdo con la ecuación (2) fue de 2,085,795.60 kJ kg^{-1} , para el servicio de enfriamiento se obtuvo un consumo de 4,412,701.89 kJ kg^{-1} . Para la etapa de deshidratación del etanol se obtuvo un consumo energético de servicio de calentamiento de 12683.42 kJ galón^{-1} y para el servicio de enfriamiento un consumo energético de 41173.10 kJ galón^{-1} .

Trabajo a futuro

Para mejorar la precisión de los resultados de la simulación se deben realizar experimentos en régimen continuo. En cuanto a las secuencias de separación pueden aplicarse técnicas de optimización para mejorar los diseños de las columnas.

En un sentido más general sobre la revalorización del suero de leche, es importante seguir con la búsqueda de alternativas que permitan reducir sus emisiones al medio ambiente. Estas alternativas deben ser eficientes y económicas.

Conclusión.

Se desarrolló el diseño de un proceso para el uso del lactosuero como materia prima para la producción de 2-feniletanol (2-PE) y bioetanol dentro de un esquema de biorrefinería de tercera generación. El proceso consta de la etapa de fermentación de lactosuero, etapa de purificación del 2-PE y la separación del bioetanol. Para el 2-PE se alcanzó una pureza de 99.76% en peso en la corriente del producto con una recuperación total de 99.41% y un costo por kilogramo producido de 0.94 USD kg^{-1} . En la etapa de separación del etanol se recuperó 86.21% con una pureza de 99.51% y un costo de producción de 0.23 USD galón^{-1} . Este proceso puede aportar un beneficio al medio ambiente a través de la disminución de los residuos de lactosuero emitidos al medio; además, se genera un impacto positivo en la industria láctea con la obtención de productos de valor agregado. Aunado a esto el costo operativo del proceso demuestra un potencial económico en la industria.

Referencias

- [1] L. Conde-Báez, J. Castro-Rosas, J. B. Páez-Lerma, J. R. Villagómez-Ibarra, and C. A. Gómez-Aldapa, "Uso de lactosuero ácido para la producción sustentable de aroma a rosas (2-feniletanol) con *Kluyveromyces marxianus*," *Revista Iberoamericana de Ciencias*, vol. 3, no.5, pp. 91-97, 2017.
- [2] M. J. Escobedo and A. C. Calderón, "Biomasa microalgal con alto potencial para la producción de biocombustibles *Scientia Agropecuaria*," vol. 12, no.2, pp. 265-282, 2021.
- [3] C. Conde Mejía and L. Conde Báez, "Chapter 11 - Biorefinery, an integrated concept: Analysis of bioethanol and aromas production from whey," in *Biofuels and Biorefining*, F. I. Gómez Castro and C. Gutiérrez-Antonio, Eds.: Elsevier, 2022, pp. 447-471.
- [4] Q. Jin, L. Yang, N. Poe, and H. Huang, "Integrated processing of plant-derived waste to produce value-added products based on the biorefinery concept," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 74, pp. 119-131, 2018/04/01/ 2018.
- [5] T. L. da Silva, L. Gouveia, and A. Reis, "Integrated microbial processes for biofuels and high value-added products: the way to improve the cost effectiveness of biofuel production," (in eng), *Appl Microbiol Biotechnol*, vol. 98, no. 3, pp. 1043-53, 2014.
- [6] A. Chacón-Izquierdo, A. E. Magdaleno-Cruz, A. López-Molina, L. Conde-Baéz, E. Mas-Hernández, and C. Conde-Mejía, "Design of a separation process for natural 2-phenylethanol with solvent selection based on safety criteria," *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 97, no. 8, pp. 2103-2108, 2022/08/01 2022.
- [7] L. Conde-Báez, J. Castro-Rosas, J. R. Villagómez-Ibarra, J. B. Páez-Lerma, and C. Gómez-Aldapa, "Evaluación de desechos de la industria quesera para la producción de 2-fenil etanol," *Acta universitaria*, vol. 27, no.3, pp. 57-64, 2017.
- [8] L. Conde-Báez, A. López-Molina, C. Gómez-Aldapa, C. Pineda-Muñoz, and C. Conde-Mejía, "Economic projection of 2-phenylethanol production from whey," *Food and bioproducts processing*, vol. 115, pp. 10-16, 2019.
- [9] D. L. López Navarro, "Criterios de selección para un agente material de separación en un proceso de deshidratación de etanol por destilación extractiva," *Revista Semilleros: Formación Investigativa*, vol. 4, pp. 49-59, 2018.
- [10] I. D. Gil, L. Garcia, and G. Rodríguez, "Simulation of ethanol extractive distillation with mixed glycols as separating agent," *Brazilian Journal of Chemical Engineering* vol. 31, pp. 259-270, 2014.

Hongos filamentosos nativos de un yacimiento petrolero con capacidad de sintetizar biotensioactivos

Marcia Eugenia Ojeda-Morales¹, Ana Laura Severo Domínguez², *Yuridia Evelin Hernández Cardeño³,
Sulma Guadalupe Gómez Jiménez⁴, Claudia Ponce Sánchez⁵

¹División Académica de Ingeniería y Arquitectura UJAT, marcia.ojeda@ujat.mx

²División Académica de Ingeniería y Arquitectura UJAT, ana.severo@ujat.mx

³División Académica de Ingeniería y Arquitectura UJAT, evelin.hernandez@ujat.mx

⁴División Académica de Ingeniería y Arquitectura UJAT, sgomez@ujat.mx

⁵División Académica de Ingeniería y Arquitectura UJAT, claudia.ponce@ujat.mx

*Autor para la correspondencia

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En esta investigación se aislaron hongos filamentosos a partir de agua congénita extraída del pozo Artesa-395 en Juárez, Chiapas, México. Las ocho cepas encontradas fueron cultivadas en medio sólido y líquido para evaluar su capacidad de utilizar el petróleo como única fuente de carbono. Cuatro cepas sobrevivieron a la primera etapa en medio sólido (HL4, HL5, HL10 y HL11), y solo dos sobrevivieron en medio líquido (HL10 y HL11). Por medio de microscopía electrónica las cepas fueron identificadas como *Aspergillus sp* (HL10) y *Curvularia spp* (HL11). La producción de biotensioactivos se evaluó con ensayos de actividad hemolítica, dispersión de aceite, gota colapsada e índice de emulsión. La cepa HL10 mostro la mayor capacidad de producción de biotensioactivo con un rendimiento de 1.897 g/L. Por lo tanto, el biotensioactivo producido por la cepa de *Aspergillus sp* puede ser utilizado en biorremediación de suelo y agua contaminados con petróleo.

Palabras clave: hongos filamentosos, biotensioactivos, biorremediación,

Abstract

Eight indigenous fungi were isolated from produced water collected from the Artesa-395 oil well in Juarez, Chiapas, Mexico. Every fungal strain was cultured in solid and liquid media containing petroleum as a sole source of carbon. Four strains survived to solid media assay (HL4, HL5, HL10 y HL11) and two survived in liquid media assay (HL10 and HL11). The HL10 and HL11 strains were identified as *Aspergillus sp* and *Curvularia spp* by scanning electron microscopy. Biotensioactive production was evaluated by studying the hemolytic activity, oil spreading, drop-collapse and emulsification assays. The HL10 strain showed the best performance to produce biotensioactive, with a yield of 1.897 g/L. Therefore, the biotensioactive synthesized by HL10 strain can be used in the bioremediation of oil-contaminated soil and water.

Key words: filamentous fungi, biotensioactives, bioremediation

Introducción

Hoy en día, el petróleo es un factor clave para el desarrollo de la vida diaria, ya que sus derivados son la materia prima para la producción de energéticos y artículos de uso común. Sin embargo, durante su extracción y refinación se generan grandes cantidades de aguas residuales también llamadas congénitas. El agua congénita se produce cuando el agua de los depósitos subterráneos se lleva a la superficie durante la extracción del petróleo [1]. Una de las características más interesantes del agua congénita es que es una fuente de microorganismos adaptados a vivir en condiciones extremas [2]. La supervivencia de estos microorganismos está relacionada con su

capacidad de sintetizar biosurfactantes (o biotensioactivos) los cuales poseen la característica de reducir la tensión superficial entre dos fases inmiscibles como agua y aceite. Por medio de ellos, los microorganismos logran acceder a los elementos del medio para aprovecharlos como fuente de carbono. Los biotensioactivos representan una herramienta útil en biorremediación como compuestos degradadores de petróleo y sus derivados [3]. Gracias a que son compuestos naturales, los biotensioactivos son biodegradables, efectivos a temperaturas mayores a 70°C y soportan niveles de salinidad mayores a 1.8E5 mg/L [4].

Dentro de la gama de microorganismos capaces de sintetizar biotensioactivos, es común encontrar hongos filamentosos. Los hongos son aerobios, de amplia distribución geográfica y soportan condiciones extremas como pH entre 3 y 12, además de temperaturas de 2 a 70°C. En su mayoría son simbióticos con las demás especies microbianas, y algunos de ellos son capaces de utilizar el carbono del petróleo como fuente energética [5]. Por ejemplo Beyoda et al. [6] comprobaron la capacidad del consorcio de hongos filamentosos *Neosartorya sp*, *Aspergillus sp.* y *Rhizomucor sp* para biorremediar petróleo crudo pesado. Al-Hawash [7] sugiere que los hongos almacenan y degradan enzimáticamente los hidrocarburos. En este proceso, los biotensioactivos intervienen modificando la tensión superficial y el grado de emulsión para que los hongos dispongan de la materia orgánica. Estos estudios demuestran la capacidad de los hongos para ser aplicados en biorremediación, por lo que este trabajo se enfoca en aislar y evaluar la capacidad de hongos filamentosos nativos para producir biotensioactivos.

Metodología

Sitio de muestreo y caracterización del agua congénita

El sitio de investigación está ubicado en Juárez, Chiapas, México (17°43'13"N 93°9'20"W). La muestra de agua congénita se recolectó del pozo Artesa-395 propiedad de Petróleos Mexicanos (PEMEX), de acuerdo con lo establecido en el apartado 4.1 de la Norma Oficial Mexicana NOM-143-SEMARNAT-2003. Las propiedades fisicoquímicas del agua congénita se midieron de acuerdo con metodología de las normas mexicanas listadas a continuación, tal como alcalinidad (NMX-AA-036-SCFI-2001), turbiedad (NMX-AA-038-SCFI-2001), conductividad (NMX-AA-093-SCFI-1986), cloruros totales (NMX-AA-073-SCFI-2001) y pH (NMX-AA-008-SCFI-2000).

Cultivo y aislamiento de las cepas fúngicas presentes en el agua congénita

Para el cultivo de las cepas fúngicas, se preparó agar de papa y dextrosa (PDA, Bixon) a una concentración de 39 g/L. El agar se esterilizó por calor húmedo a 121°C y 15 lb/in² durante 15 min.

En condiciones de esterilidad, se vertió agar en cinco cajas Petri, las cuales se dejaron reposar hasta que el agar gelificó completamente. En cada caja se agregó 0.1 mL de agua congénita y se diseminó uniformemente con un asa de digralsky [8]. Las cajas se mantuvieron en una incubadora biológica a 28°C durante 96 h o hasta observar la expresión de las colonias de hongos filamentosos.

Con ayuda de un sacabocado (1 cm de diámetro) se extrajeron muestras de cada tipo de hongo, y se colocaron nuevamente en agar PDA. Las cajas Petri con los cultivos aislados (axénicos) se mantuvieron en incubación hasta obtener la biomasa necesaria para su caracterización.

Crecimiento en medio sólido suplementado con petróleo

Como primera aproximación para evaluar la capacidad de los hongos para usar el petróleo como única fuente de carbono se realizó un ensayo en medio sólido. El medio de agar bacteriológico fue utilizado como medio selectivo para hongos (15 g/L), el cual fue suplementado con rosa de bengala (0.05 g/L) para inhibir el crecimiento bacteriano. Primero, el agar bacteriológico (esterilizado en autoclave a 17 lb/plg² durante 15 min) se vertió en cajas petri y se dejó gelificar antes de colocar papel filtro whatman (1x1 cm) impregnado con petróleo. Encima del papel filtro se colocó una muestra del hongo (1 cm de diámetro) obtenida de los cultivos puros. Finalmente, las cajas petri se incubaron a 28°C por 96 h. Los experimentos se realizaron bajo condiciones asépticas.

Crecimiento en medio líquido suplementado con petróleo

Las cepas que mostraron actividad en la etapa anterior fueron sometidas al ensayo de sobrevivencia en medio líquido. Para ello, se preparó caldo nutritivo a base de (g/L) extracto de carne (1.0), extracto de levadura (2.0), peptona caseína (5.0) y NaCl grado reactivo (5.0). Además, se requirió caldo bushnell-haas preparado (g/L): KH₂PO₄ (1), K₂HPO₄ (1), NH₄NO₃ (1), MgSO₄ (0.2), CaCl₂ (0.02) y FeCl₂ (0.05).

Primero, la biomasa extraída de los cultivos axénicos de cada hongo se inoculó en 100 mL de caldo nutritivo. La concentración de la suspensión se ajustó hasta una densidad óptica de 0.5 (OD_{450nm} , Genesys 20, Thermo Spectronic). Posteriormente, un volumen de 5 mL de esta suspensión se adicionó a 250 mL de caldo con el medio de cultivo bushnell-haas suplementado con 1% v/v de petróleo como fuente de carbono. La mezcla se colocó en un biorreactor con entrada de aire y sistema de venteo [9]. Cada 48 h se cuantificaron las unidades formadoras de colonia (UFC/mL) a partir de 1 mL de muestra aplicando la técnica de conteo en placa.

Análisis morfológico de las cepas fúngicas

Una pieza de papel filtro se colocó en el centro de una caja petri con agar PDA, y en el espacio libre se distribuyeron muestras de la cepa fúngica purificada. Después de 7 días, el micelio cubrió el papel filtro, por lo que fue separado de la caja petri para observarlo en el microscopio electrónico (JEOL JSM-6010LA) [10].

Cinética de crecimiento microbiano

Primero, la biomasa extraída de los cultivos axénicos de cada hongo se inoculó en 300 mL de caldo GPYS, de acuerdo con la formulación propuesta por Ishaq et al. 2015. La concentración de la suspensión se ajustó hasta una densidad óptica de 0.4 (OD_{450nm}), y se colocó en un biorreactor con entrada de aire y sistema de venteo. La producción de biomasa fúngica se cuantificó por turbidimetría midiendo la absorbancia de la muestra a 450 nm cada 12 h por ocho días. La fase estacionaria se identificó de la curva densidad óptica *versus* tiempo, para cada tipo de hongo.

Obtención de caldo libre de células

Durante la fase estacionaria de crecimiento de cada hongo se extrajeron alícuotas de 30 mL cada 24 h. Las alícuotas se centrifugaron a 5,500 rpm por 20 min, y la fase líquida sin células (desde ahora caldo libre de células o CLC) se reservó para la caracterización de los biotensioactivos.

Actividad hemolítica

El ensayo de actividad hemolítica se realizó con agar base sangre con 5% v/v de sangre de cordero. El agar se preparó en cajas petri y después se extrajeron porciones circulares del agar gelificado, para después vaciar 1 mL del CLC en los espacios vacíos. Después de 24 h se observó el posible efecto hemolítico, es decir, el desarrollo de una zona despejada alrededor de los depósitos [11].

Dispersión de aceite

Un volumen de 30 mL de agua se vertió en cajas petri de vidrio y luego se agregó una gota de petróleo. Después se añadieron 0.2 mL de CLC sobre la gota sobrenadante de petróleo. La formación de una zona de aclaramiento en la gota de petróleo indicó la presencia de biotensioactivos [11].

Gota colapsada

Un volumen de 0.2 mL de petróleo se depositó sobre una superficie hidrofóbica (papel parafilm) y se dejó secar hasta formar una película delgada. Después se colocó una gota de CLC sobre la película de petróleo y se observó su comportamiento inmediato. El resultado es negativo (-) si la gota permanece en su forma original mientras que el resultado es positivo (+) si la gota colapsa [12].

Índice de emulsión (E_{24})

En un tubo de ensayo se vertieron 2 mL de CLC y 2 mL de petróleo ($28^{\circ}C \pm 1$, 1 atm), posteriormente se mezclaron con ayuda de un vórtex durante 3 min. El tubo se selló y se dejó reposar por 24 h. El índice de emulsión se calculó dividiendo la altura de emulsión entre la altura total multiplicado por 100. Si $E_{24} \geq 50\%$ el resultado fue positivo, si $E_{24} \leq 50\%$ el resultado fue negativo [13].

Extracción y caracterización del biotensioactivo

El biotensioactivo se extrajo del CLC por el método de precipitación ácida. Para ello, el pH del CLC se ajustó hasta 2 con HCl 2N y se mantuvo en agitación 12 h o hasta observar la aparición de partículas suspendidas. Después la solución se centrifugó a 6,000 rpm durante 25 min, el sobrenadante se descartó y la fase sólida se secó para cuantificar la masa obtenida [14].

Resultados y discusión

Caracterización del agua congénita

El agua congénita se obtuvo del pozo Artesa-395 propiedad de PEMEX, ubicado en Juárez, Chiapas, México. Las características de la muestra se enlistan en la tabla 1. Estos resultados son similares a los reportadas por Solís-Contreras [15], quien analizó el agua congénita de un pozo petrolero cercano al sitio de muestreo. La diferencia en la concentración de cloruros totales puede estar relacionada con la profundidad del pozo Artesa (2000 m).

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del agua congénita del pozo Artesa-395.

Característica	Alcalinidad (mg/L)	Cloruros totales (mg/L)	Conductividad eléctrica (mS/cm)	pH	Turbiedad (NTU)
Esta investigación	225	11225	3.8	5.3	179
Solís-Contreras [15]	300	93701	2.5	6.5	179

Cultivo de las cepas en medio sólido

Ocho cepas diferentes de hongos filamentosos fueron aisladas del agua congénita, denominadas HL1, HL2, HL3, HL4, HL5, HL9, HL10 y HL11. Durante el ensayo en medio sólido se observó que solo las cepas HL4, HL5, HL10 y HL11 desarrollaron sus filamentos sobre el papel filtro. Este comportamiento sugiere que los hongos mantienen su metabolismo activo utilizando al petróleo como fuente de carbono [15] (Figura 1).

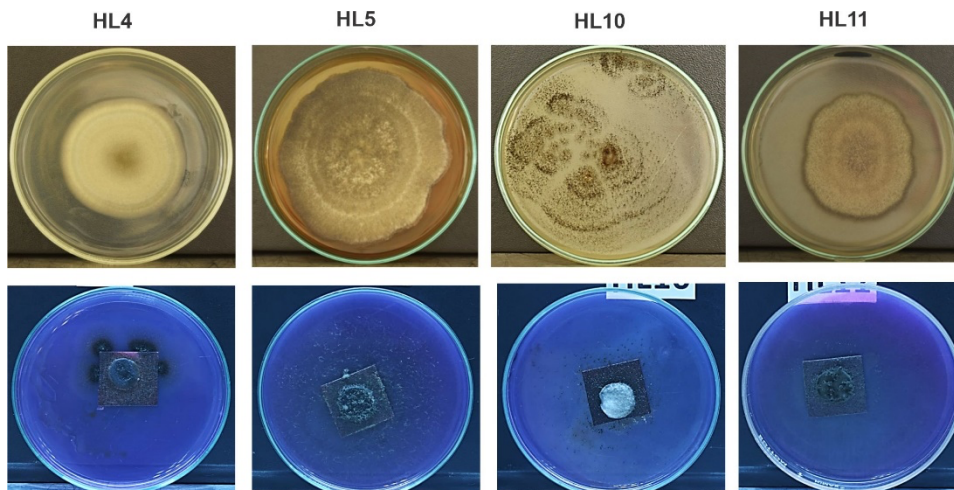


Figura 1. Cultivo axénico (arriba) y prueba en medio sólido (abajo) de las cepas HL4, HL5, HL10 y HL11.

Cultivo de las cepas en medio líquido

Las cepas HL4, HL5, HL10 y HL11 seleccionadas en la etapa anterior, se cultivaron individualmente en medio líquido enriquecido con petróleo. Los resultados revelaron que las cepas HL10 y HL11 lograron reproducirse, mientras que las cepas HL4 y HL5 no sobrevivieron. Si bien es cierto que las condiciones entre el laboratorio y el nicho natural pueden afectar el desarrollo óptimo de las cepas [16], aquellas más resistentes se adaptarán a condiciones extremas y lograrán asimilar los recursos disponibles [17]. El análisis morfológico por SEM de las cepas HL10 y HL11 mostró que la primera pertenece al género *Aspergillus* (Fig. 2b) con diámetro de conidios de $2.8 \pm 0.4 \mu\text{m}$. En cambio, la cepa HL11 (Fig. 2c) pertenece al género *Curvularia* con ascas de $17 \pm 2 \mu\text{m}$ de longitud.

Estudios recientes han reportado la capacidad de cepas pertenecientes al género *Aspergillus* para degradar algunas fracciones del petróleo [18] o incluso petróleo crudo [19]. En contraste, el género *Curvularia* parece trabajar mejor en conjunto con otros microorganismos [20].

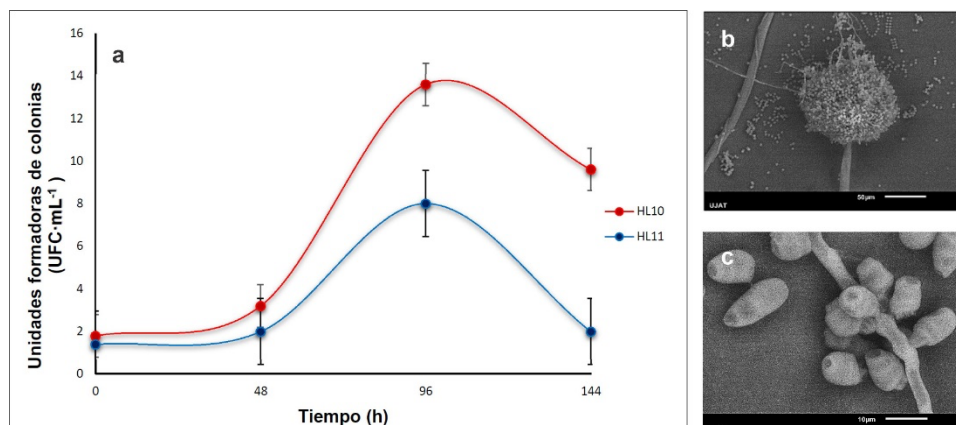


Figura 2. Curva de crecimiento de las cepas HL10 y HL11 en medio líquido enriquecido con petróleo (a). Imágenes de SEM de las cepas HL10 (b) y HL11 (c).

Cinética de crecimiento microbiano

Los análisis anteriores sugieren la capacidad de las cepas HL10 y HL11 para sintetizar biotensioactivos, pero la producción máxima de este biocompuesto ocurre en el punto máximo de proliferación de los hongos. Después de este momento, los hongos inician su fase estacionaria debido principalmente a la limitación de nitrógeno en el medio [21]. La cinética de crecimiento de las cepas HL10 (Fig. 3a) y HL11 (Figura 3b), indicaron que el punto máximo de crecimiento se alcanzó a las 96 h en ambos casos, por lo que la caracterización de los biotensioactivos se hizo a este tiempo.

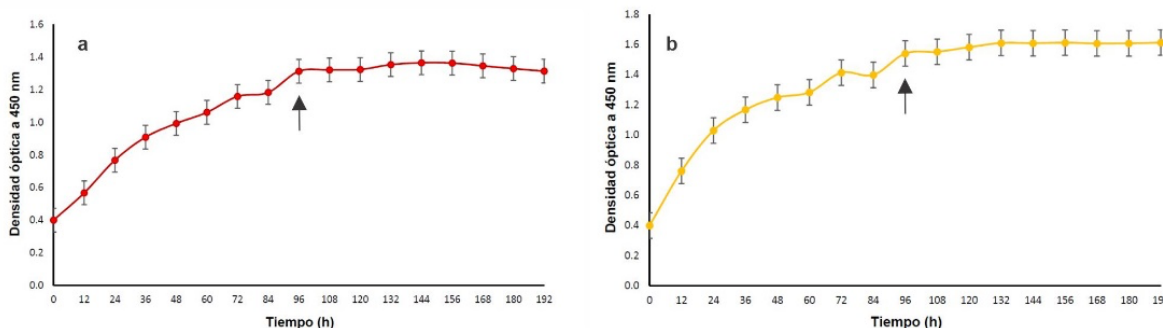


Figura 3. Cinética de crecimiento de las cepas HL10 (a) y HL11 (b). Las flechas señalan el punto máximo de crecimiento.

Análisis de los biotensioactivos

Con base en los resultados de la cinética de crecimiento (Fig. 3), la presencia de los biotensioactivos se analizó en muestras de CLC obtenido a 96 h de cultivo. La actividad tensioactiva se examinó con ensayos de actividad hemolítica, dispersión en aceite, gota colapsada e índice de emulsión (Tabla 2).

Primero se estudió la actividad hemolítica de los biotensioactivos, es decir, la capacidad de romper los glóbulos rojos de la sangre. De acuerdo con Kiran *et al.* [22], el grado hemólisis está relacionado con la cantidad de biotensioactivo producido. La Tabla 2 reveló que la cepa HL10 produjo un efecto hemolítico en un diámetro de 10 mm, mientras que el efecto de la cepa HL11 fue menor. Posteriormente, en el análisis de dispersión de aceite, el CLC de la cepa HL10 produjo un área de dispersión en la película de petróleo de 5.72 mm² debido a la presencia de biotensioactivos [23]. En cambio, el CLC de la cepa HL11 no registró efecto.

Por otro lado, durante el ensayo de la gota colapsada se observó el esparcimiento de la gota de CLC de la cepa HL10 sobre la superficie del petróleo. En contraste, las gotas de CLC de la cepa HL11 mantuvieron su forma durante el ensayo, lo que indica poco o nulo contenido de biotensioactivo. El colapso ocurre cuando disminuye la

tensión superficial de una gota de CLC debido a que el biotensioactivo entra en contacto con la sustancia a la que es afín, en este caso el petróleo [24]. Así mismo, el índice de emulsión reveló que solamente la CLC de la cepa HL10 alcanzó un $E_{24} \geq 50\%$. Esto se debe a que el biotensioactivo logra formar una emulsión entre el agua de naturaleza hidrofílica y con el petróleo de naturaleza hidrofóbica, este mecanismo es necesario para la descomposición de los hidrocarburos [7]. Posteriormente los biotensioactivos producidos por las cepas HL10 y HL11 fueron parcialmente purificados, obteniendo 1.897 y 1.1 g/L respectivamente. Con base en los resultados de las pruebas cualitativas (Tabla 2) se esperaba un mayor rendimiento del biotensioactivo de la cepa HL10. Estos resultados son similares a lo reportado por Asgher *et al.* [14] y Al-Hawash *et al.* [7] quienes obtuvieron rendimientos de 2.3 g/L y 1.4 g/L respectivamente para biotensioactivos obtenidos de cepas de *Aspergillus*.

Tabla 2. Actividad tensioactiva de las cepas HL10 y HL11 en presencia de petróleo.

Cepa	Actividad hemolítica (mm)	Dispersión de aceite (mm ²)	Gota colapsada (+/-)			E ₂₄ (%)	Rendimiento g/L
			R1	R2	R3		
HL10	10	5.72	+	+	+	74.6	1.897
HL11	4	0	-	-	-	27.5	1.100

Trabajo a futuro

La presente investigación demostró que las cepas fúngicas nativas del pozo Artesa-305 pueden sintetizar biotensioactivos. Se recomienda evaluar la producción de los biotensioactivos, cultivando los hongos de manera individual o en consorcio en condiciones de temperatura, pH y salinidad similares al yacimiento petrolero. Además, se debe evaluar la eficiencia de los hongos para descomponer hidrocarburos y petróleo crudo.

Conclusiones

En este estudio, se aislaron ocho cepas fúngicas a partir del agua congénita proveniente del pozo Artesa-395 ubicado en Juárez, Chiapas, México. El ensayo en medio sólido reveló que las cepas identificadas como HL4, HL5, HL10 y HL11 fueron capaces de utilizar al petróleo como única fuente de carbono. De estas cuatro cepas, solo HL10 y HL11 crecieron en medio líquido enriquecido con petróleo. Las imágenes obtenidas por microscopía electrónica mostraron que las cepas HL10 y HL11 pertenecen a los géneros *Aspergillus* y *Curvularia* respectivamente. La cepa *Aspergillus sp* (HL10) exhibió un desempeño superior a la cepa *Curvularia spp* (HL11) en las pruebas de actividad tensioactiva como actividad hemolítica, dispersión de aceite, gota colapsada e índice de emulsión. Finalmente, el rendimiento del biotensioactivo producido por la cepa *Aspergillus sp* fue de 1.897 g/L, comparable con estudios previos. El uso del biotensioactivo producido por la cepa nativa *Aspergillus sp* es una estrategia prometedora para la biorremediación de aguas y suelos contaminados por hidrocarburos.

Agradecimientos

Se le agradece a la M.I. Ana Laura Severo Domínguez, M.I. Anabel González Díaz y MC Lorena González Díaz, por la oportunidad de hacer diversos análisis de los biotensioactivos así como microscopía electrónica y análisis en el espectrómetro infrarrojo.

Referencias

- [1] S. Jiménez, M. M. Micó, M. Arnaldos, F. Medina, and S. Contreras, "State of the art of produced water treatment," *Chemosphere*, vol. 192, pp. 186-208, 2018.
- [2] J. Zhao *et al.*, "Petroleum accumulation: from the continuous to discontinuous," *Petroleum Research*, vol. 2, no. 2, pp. 131-145, 2017.

- [3] L. A. Sarubbo *et al.*, "Biosurfactants: Production, properties, applications, trends, and general perspectives," *Biochemical Engineering Journal*, vol. 181, p. 108377, 2022.
- [4] C. Negin, S. Ali, and Q. Xie, "Most common surfactants employed in chemical enhanced oil recovery," *Petroleum*, vol. 3, no. 2, pp. 197-211, 2017.
- [5] L. Naranjo-Briceño *et al.*, "Potential Role of Extremophilic Hydrocarbonoclastic Fungi for Extra-Heavy Crude Oil Bioconversion and the Sustainable Development of the Petroleum Industry," pp. 559-586, 2019.
- [6] C. C. Bedoya Ciro and L. H. Estupiñan B, "Evaluación in vitro de la capacidad biorremediadora de hongos filamentosos sobre petróleo crudo," *Nova*, vol. 16, pp. 37-58, 2018.
- [7] A. B. Al-Hawash *et al.*, "Biodegradation of n-hexadecane by *Aspergillus* sp. RFC-1 and its mechanism," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 164, pp. 398-408, 2018.
- [8] M. T. Madigan, J. M. Martinko, P. V. Dunlap, and D. P. Clark, *Brock. Biología de los microorganismos*. Pearson, 2017.
- [9] M. E. Ojeda-Morales, M. Domínguez-Domínguez, M. A. Hernández-Rivera, and J. G. Álvarez-Ramírez, "Biosurfactant Synthesized by *Azospirillum lipoferum* ALM1B2: Characterization and Application for Environmental Protection," *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 227, no. 6, 2016.
- [10] G. Venkatesh Babu, P. Perumal, S. Muthu, S. Pichai, K. Sankar Narayan, and S. Malairaj, "Enhanced method for High Spatial Resolution surface imaging and analysis of fungal spores using Scanning Electron Microscopy," *Scientific Reports*, vol. 8, no. 1, 2018.
- [11] H. M. M. Ibrahim, "Characterization of biosurfactants produced by novel strains of *Ochrobactrum anthropi* HM-1 and *Citrobacter freundii* HM-2 from used engine oil-contaminated soil," *Egyptian Journal of Petroleum*, vol. 27, no. 1, pp. 21-29, 2018.
- [12] C. Zhong, J. Zhao, W. Chen, D. Wu, and G. Cao, "Biodegradation of hydrocarbons by microbial strains in the presence of Ni and Pb," *3 Biotech*, vol. 10, no. 1, 2019.
- [13] Z. Ahmad, M. Arshad, H. N. Asghar, M. A. Sheikh, and D. E. Crowley, "Isolation, Screening and Functional Characterization of Biosurfactant Producing Bacteria Isolated from Crude Oil Contaminated Site," *International Journal of Agriculture and Biology*, vol. 18, no. 03, pp. 542-548, 2016.
- [14] M. Asgher, S. Arshad, S. A. Qamar, and N. Khalid, "Improved biosurfactant production from *Aspergillus niger* through chemical mutagenesis: characterization and RSM optimization," *SN Applied Sciences*, vol. 2, no. 5, 2020.
- [15] J. L. Solís-Contreras, "Efecto de la mojabilidad de un sistema sólido-líquido producido por un tensioactivo sintetizado por una cepa fúngica petrolílica," Doctorado en Ciencias División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Tabasco, México, 2020.
- [16] T. S. Tshikantwa, M. W. Ullah, F. He, and G. Yang, "Current Trends and Potential Applications of Microbial Interactions for Human Welfare," *Frontiers in Microbiology*, vol. 9, 2018.
- [17] S. Rodríguez-Pérez, M. A. Crescencia-Arone, J. Soria-Calzadillo, I. A. Aguilera-Rodríguez, and M. J. Serrat-Díaz, "Determinación de biomasa fúngica y su utilidad en procesos biotecnológicos," *Afinidad*, vol. 74, pp. 60-67, 2016.
- [18] J. Araujo, F. Yegres, G. Barreto, A. A. Antequera, B. Depool, and Y. Rojas, "Biocatalizadores fúngicos hidrocarbonoclasticos del genero *Aspergillus* para la descontaminación de agua con Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPAs)," *Revista Cubana de Química* vol. 28, no. 2, pp. 703-735, 2016.
- [19] A. A.-E. L. M. El-Hanafy *et al.*, "Characterization of native fungi responsible for degrading crude oil from the coastal area of Yanbu, Saudi Arabia," *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, vol. 31, no. 1, pp. 105-111, 2016.
- [20] B. Kumari, M. Singh, P. K. Srivastava, and S. N. Singh, "Degradation of Petroleum Sludge in Soil by Bacterial-Fungal Co-Culture in Presence of Organic and Inorganic Stimulants," *International Journal of Plant and Environment*, vol. 5, no. 03, pp. 155-164, 2019.
- [21] A. Decesaro, M. R. Rigon, A. Thomé, and L. M. Colla, "Produção de biossurfactantes por microrganismos isolados de solo contaminado com óleo diesel," *Química Nova*, vol. 36, no. 7, pp. 947-954, 2013.
- [22] G. S. Kiran *et al.*, "Optimization and production of a biosurfactant from the sponge-associated marine fungus *Aspergillus ustus* MSF3," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 73, no. 2, pp. 250-256, 2009.
- [23] L. J. Raiger lustman and N. I. López, "Los biosurfactantes y la industria petrolera," *Química Viva* vol. 8, no. 3, pp. 146-161, 2009.
- [24] U. Ishaq *et al.*, "Production and characterization of novel self-assembling biosurfactants from *Aspergillus flavus*," *Journal of Applied Microbiology*, vol. 119, no. 4, pp. 1035-1045, 2015.

Propiedades fisicoquímicas y funcionales de harinas compuestas: cáscara de melón/almidón de maíz/aislado proteico de soya

J. Rodríguez-Miranda*, A. Ángeles-Hernández, A. L. Pérez-Pérez, J. G. Torruco-Uco, E. Ramírez-Figueroa.

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Calzada Dr. Víctor Bravo Ahúja, No. 561, Col. Predio el Paraíso, Tuxtepec, Oaxaca, C.P. 68350, México. *jesrodmir@gmail.com; jesus.rm@tuxtepec.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue evaluar algunas propiedades fisicoquímicas y funcionales de harinas compuestas de mezclas de cáscara de melón (0-100%)/almidón de maíz (0-100%)/aislado proteico de soya (0-100%). Las mezclas se realizaron acorde a un diseño de mezclas simple centroide. Se evaluó el color (L^* , a^* , b^*), pH, la capacidad de absorción de agua (CAA), capacidad de solubilidad en agua (CSA) y la capacidad de absorción de aceite (CAac). El aumento de la cáscara de melón incremento ($p < 0.05$) a^* , b^* , CAA y CAac, mientras que el incremento del aislado de proteína se soya aumentó ($p < 0.05$) el pH, CSA y CAac. El aumento del almidón de maíz incrementó ($p < 0.05$) la L^* . Los resultados obtenidos muestran que las harinas compuestas de mezclas de cáscara de melón/almidón de maíz/aislado proteico de soya pueden ser dirigidas a la investigación y al desarrollo e innovación de nuevos productos.

Palabras clave: Cáscara, *Cucumis melo*, *Glycine max*, *Zea mays*.

Abstract

The objective of the present investigation was to evaluate some physicochemical and functional properties of flours composed of mixtures of melon peel (0-100%)/corn starch (0-100%)/soy protein isolate (0-100%). The mixtures were made according to a simple centroid mixture design. Color (L^* , a^* , b^*), pH, water absorption capacity (WAC), water solubility capacity (WSC) and oil absorption capacity (OAC) were evaluated. The increase in melon rind increased ($p < 0.05$) a^* , b^* , WAC and OAC, while the increase in soy protein isolates increased ($p < 0.05$) pH, WSC and OAC. The increase in corn starch increased ($p < 0.05$) the L^* . The results obtained show that the flours composed of mixtures of melon peel/corn starch/soy protein isolate can be directed to the research and development and innovation of new products.

Key words: Peel, *Cucumis melo*, *Glycine max*, *Zea mays*.

Introducción

La búsqueda de nuevas materias primas, para dar valor agregado a los subproductos de la industria alimentaria, ha dado pie a los investigadores a la caracterización (química, funcional y antioxidantes) de dichos desechos para su posible uso en la incorporación, desarrollo e innovación de nuevos productos. Como es el caso de la cáscara del melón. El melón (*Cucumis melo* L.) pertenece a la familia de las Cucurbitáceas. Es considerada como uno de los cultivos más valiosos y populares cultivados en los países tropicales, además que se cultiva alrededor del mundo [1, 2]. El melón es una fruta jugosa conocida por sus propiedades nutritivas y medicinales, contiene ácidos grasos, polifenoles y carotenoides que son compuestos bioactivos, presentes en el melón con varias actividades benéficas que pueden mejorar la salud humana. El consumo de melón ha sido catalogado como un agente curativo natural que juega un papel terapéutico y preventivo frente a una serie de enfermedades crónicas como el envejecimiento, la inflamación y ciertos cánceres [2-5]. Generalmente, los compuestos bioactivos del melón se ingieren a través del mesocarpio de la fruta fresca, que es la parte más estudiada de la fruta en comparación con las cáscaras y semillas. Su procesamiento industrial produce una amplia gama de productos de consumo natural como jugos, mermeladas, pulpa deshidratada y ensaladas o snacks. Sin embargo, estas actividades industriales

también generan una gran cantidad de subproductos de frutas a lo largo de su procesamiento. Actualmente, algunos investigadores han informado niveles más altos de compuestos fenólicos y ácido ascórbico en las cáscaras que en la pulpa de frutas [5,6]. Estas materias primas también podrían tener aplicaciones potenciales enfocadas a la nutrición humana, desarrollando nuevos insumos alimenticios con beneficios funcionales por su abundancia de compuestos bioactivos, en particular vitaminas, minerales, fibra, aceites, carotenoides y polifenoles [7]. Silva et al. [8] describieron el potencial de los subproductos del melón como ingredientes para nuevos alimentos funcionales. Por lo tanto, la importancia de la caracterización de sus propiedades funcionales, así como la elaboración de harinas compuestas para potencializar estos beneficios. Esto se podría realizar con el enriquecimiento de está con proteínas como es el caso del concentrado proteico de soya y el almidón de maíz, para conocer su posible uso en la industria de alimentos. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar las algunas propiedades fisicoquímicas y funcionales de harinas compuestas de mezclas de cáscara de melón/almidón de maíz/aislado proteico de soya.

Metodología

Materiales

El melón (*Cucumis melo* L.) se adquirió en su etapa de madurez comercial en el mercado local de San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México. El almidón de maíz se adquirió de la Marca ALMEX Almidones Mexicanos, S.A. DE C.V. Calle 26 No. 2756, C.P. 44940, Zona Industrial Guadalajara, Jal., México. El aislado de proteína de soya fue de la Marca Food Technologies Trading S.A. de C.V. Calle Robles Mz. 63 Lt 8. C.P. 52924. Col. San José del Jaral Atizapán. Edo. de México. con un contenido del 90% de proteínas. Todos los reactivos fueron grado alimenticio o superior.

Obtención de la harina de cascara de melón

El melón se lavó, y se peló, las cáscaras fueron homogenizadas en grosor y se cortaron en secciones de 1 cm². Las cáscaras se secaron a 60 °C por 10 h, posteriormente se molieron y tamizaron hasta reducir las partículas a un tamaño 0.42 mm (malla 40). La harina se colocó en bolsas de polietileno y fueron selladas y almacenadas a 4 °C hasta su posterior uso.

Elaboración de las mezclas

Las mezclas se realizaron en lotes de 100 g de acuerdo al diseño de experimentos de mezclas simple centroide (Tabla 1). Se pesaron y se mezclaron de forma manual hasta obtener una mezcla homogénea.

Tabla 1. Diseño de mezclas simple centroide utilizado en la formulación de las mezclas.

Tratamiento/ID	Cáscara de melón (%)	Almidón de maíz (%)	Aislado de proteína de soya (%)
T1	50.00	0.00	50.00
T2	0.00	0.00	100.00
T3	16.60	66.70	16.70
T4	33.30	33.30	33.30
T5	0.00	0.00	100.00
T6	0.00	50.00	50.00
T7	50.00	50.00	0.00
T8	0.00	100.00	0.00
T9	16.70	16.60	66.70
T10	0.00	50.00	50.00
T11	0.00	100.00	0.00
T12	66.70	16.70	16.60
T13	100.00	0.00	0.00
T14	100.00	0.00	0.00

Determinación de color y pH

El color de las mezclas se determinó en un colorímetro de laboratorio Hunter Lab (UltraScan-VIS, Modelo USVIS1347, Inc., Reston, Virginia, USA). Se obtuvieron los valores L^* (Luminosidad), a^* (cromaticidad rojo-verde) y b^* (cromaticidad amarilla/azul). El pH se midió dispersando 1 g de muestra en 10 mL de agua destilada.

Capacidad de absorción de agua (CAA) y capacidad de solubilidad en agua (CSA)

La CAA y la CSA se determinaron de acuerdo con Hernández-Santos et al. [9]. A 10 mL de agua destilada se agregó 1 g de muestra, se agitó (Vortex-2 Genie, Modelo G-560, Scientific Industries, INC, USA) durante 30 s, posteriormente se centrifugaron a 3500 rpm/15 min (Centrifuga Hettich D-78532 1706-01, Modelo Rotina 380R, Alemania). El sobrenadante se decantó en una cápsula de porcelana previamente a peso constante. La CAA se calculó como el aumento de peso del sedimento obtenido después de decantar el sobrenadante con la Ec. 1. El sobrenadante se evaporó a 105 °C hasta sequedad y peso constante, la CSA fue determinado mediante la Ec. 2. Los resultados fueron expresados como gramos de agua retenida por gramo de muestra para la CAA y para la CSA en porcentaje.

$$CAA = (\text{Peso del sedimento húmedo (g)}) / (\text{Peso de la muestra seca (g)}) \quad \text{Ec. 1}$$

$$CSA = (\text{Peso del sobrenadante seco (g)}) / (\text{Peso de la muestra seca (g)}) \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

Capacidad de absorción de aceite (CAAc)

A 1 g de muestra se le añadió 10 mL de aceite de maíz y se agitaron (Vortex-2 Genie, Modelo G-560, Scientific Industries, INC, Bohemia, N.Y. USA) durante 30 s, se centrifugaron a 3500 rpm/15 min (Universal Compact Centrifuge HERMLE Labortechnik GmbH Mod Z 200A, Alemania). Los resultados se expresaron como gramos de aceite retenido por gramo de muestra de acuerdo con la Ec 3. [9]

$$CAAc = (\text{Peso del sedimento con el aceite (g)}) / (\text{Peso de la muestra seca (g)}) \quad \text{Ec. 3}$$

Diseño de experimentos y análisis estadístico

Los resultados fueron expresados como el valor promedio de tres determinaciones. Se usó un diseño de experimentos de mezclas simple centroide con tres variables independientes: Cáscara de melón (0-100%), almidón de maíz (0-100%) y aislado de proteína de soya (0-100%). Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía y una prueba de diferencia mínima significativa (LSD) para determinar la diferencia significativa entre tratamientos. Los resultados fueron analizados por regresión lineal múltiple. La significancia estadística de los términos de la regresión se examinó utilizando un ANDEVA para cada respuesta.

Resultados y discusión

Parámetros de color

La máxima luminosidad (L^*) se encontró en los tratamientos T8 y T11 que corresponden a las mezclas con el 100% de almidón de maíz (Tabla 1), no se encontró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre estos tratamientos con un promedio de 95.89 (Tabla 2). Mientras que el menor valor (71.32) se encontró en la mezcla con el 100% de cáscara de melón, que corresponden a los tratamientos T13 y T14. El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales de L^* mostró un valor del coeficiente de correlación (R^2) = 0.9917 (Tabla 3) el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.0001$). Los coeficientes de regresión de la L^* muestran (Tabla 3) que la interacción AB (cáscara de melón/almidón de maíz) presenta un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo. En la Figura 1a se observa que el incremento de la concentración del almidón de maíz produjo un aumento significativo ($p < 0.05$) de la L^* , mientras que el aumento de la concentración de la cáscara de melón y el aislado de proteína de soya disminuyeron la L^* . Por lo tanto, los valores más bajos de L^* se encontraron en las mezclas con mayor concentración de la cáscara de melón, seguidos por las mezclas con el aislado de proteína de soya. Esto se debe a que el almidón de maíz es de color blanco, por lo tanto, al disminuirse en la mezcla disminuyó la L^* .

El intervalo de a^* encontrado fue de -1.03 a -0.10 (Tabla 2), ubicándose en el cuádrate de color de tonos verdes. El mayor valor se encontró en T6 el cual corresponde a la mezcla del 50% almidón de maíz y 50% del aislado de proteína de soya (Tabla 1). El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales de a^* mostró un valor del $R^2 = 0.9313$ (Tabla 3) el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.0002$). Los coeficientes de regresión de a^* muestran (Tabla 3) que todas las interacciones [AB (Cáscara de melón/almidón de maíz), AC (Cáscara de melón/aislado de proteína de soya) y BC (Almidón de maíz/aislado de proteína de soya)] presenta un efecto significativo ($p < 0.05$). Las interacciones AB y BC presenta un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo. Mientras que la intención AC presenta un efecto significativo ($p < 0.05$) positivo. En la Figura 1b se observa que el incremento de la concentración de la cáscara de melón produjo un aumento significativo de a^* , mientras que el aumento de la concentración del aislado de proteína de soya disminuyó el valor de a^* . Por lo tanto, el aumento de la cáscara de melón en la mezcla aumentó la tonalidad e intensidad del color verde en las mezclas.

Los valores encontrados de b^* oscilaron de 1.90 a 26.11 (Tabla 2), localizarse en el cuádrate de color de tonos amarillos. El valor más alto se encontró en T14 que corresponde a la mezcla con el 100% de cáscara de melón y el menor valor a T11 con el 100% de almidón de maíz (Tabla 1). El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales de b^* mostró un valor del $R^2 = 0.9950$ el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.0002$). Los coeficientes de regresión de b^* muestran (Tabla 3) que todas las interacciones (AB, AC y BC) presenta un efecto significativo ($p < 0.05$) positivo. El incremento de la cáscara de melón en la mezcla aumentó la tonalidad de amarillo en los tratamientos como se observa en la Figura 1c, mientras que a mayores concentraciones de almidón el valor de b^* disminuyó.

La L^* de la cáscara de melón de esta investigación es superior a lo reportado por Sroy et al. [10] ($L^* = 66.00$) en cáscara de melón de origen Portugués y a lo reportado por Mallek-Ayadi et al. [11] ($L^* = 68.63$) en cáscara de melón de origen Tunecino. Mientras que, los valores de a^* es inferior a lo reportado (-4.82 a -2.36) por estos autores. El valor de b^* es superior a lo reportado por Sroy et al. [10] ($b^* = 24.65$) e inferior a lo reportado por Mallek-Ayadi et al. [11] ($b^* = 30.89$) y dentro del intervalo reportado en otras fuentes como en harina de camote (79.80-87.49 [12]), harina de semilla de calabaza (74.92-96.4 [13]) y de harina de semilla de ébano (66.02-84.54 [14]). Estas diferencias de color se deben principalmente al método de secado (temperatura y tiempo de secado), además de las variedades utilizadas y el estado de madurez.

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas y funcionales de las harinas compuestas de las mezclas de cáscara de melón, almidón de maíz y aislado de proteína de soya.

ID	Color			pH	CAA (g/g)	CSA (%)	CAac (g/g)
	L^*	a^*	b^*				
T1	74.42 ± 0.60 ^b	-0.17 ± 0.03 ^f	25.47 ± 0.02 ^{gh}	6.32 ± 0.10 ^d	4.64 ± 0.45 ^{ef}	32.14 ± 0.67 ^h	3.00 ± 0.17 ^{cde}
T2	80.83 ± 2.77 ^e	-0.86 ± 0.14 ^{abc}	17.17 ± 0.51 ^d	8.33 ± 0.03 ^j	5.26 ± 0.38 ^g	34.01 ± 0.69 ^{hi}	3.28 ± 0.15 ^e
T3	84.22 ± 0.40 ^g	-0.64 ± 0.05 ^{bcd}	15.58 ± 0.29 ^c	6.67 ± 0.10 ^f	2.89 ± 0.05 ^b	10.16 ± 0.56 ^b	2.60 ± 0.25 ^{ab}
T4	78.74 ± 0.76 ^{cd}	-0.54 ± 0.12 ^{cde}	21.64 ± 0.69 ^f	6.51 ± 0.06 ^e	3.52 ± 0.24 ^c	21.25 ± 1.18 ^{def}	2.95 ± 0.31 ^{cd}
T5	82.71 ± 0.64 ^f	-0.94 ± 0.02 ^{ab}	17.49 ± 0.28 ^d	8.32 ± 0.09 ^j	6.04 ± 0.55 ^h	35.81 ± 1.89 ⁱ	3.13 ± 0.24 ^{de}
T6	87.48 ± 0.68 ^h	-1.03 ± 0.02 ^a	12.73 ± 0.12 ^b	8.35 ± 0.01 ^j	4.22 ± 0.29 ^{de}	22.28 ± 0.92 ^f	2.44 ± 0.06 ^a
T7	77.76 ± 0.33 ^c	-0.57 ± 0.44 ^{cd}	22.08 ± 0.66 ^f	5.73 ± 0.09 ^b	4.03 ± 0.25 ^d	14.42 ± 0.82 ^c	2.62 ± 0.31 ^{ab}
T8	95.91 ± 0.35 ⁱ	-0.20 ± 0.01 ^{ef}	1.92 ± 0.02 ^a	6.79 ± 0.07 ^g	1.88 ± 0.07 ^a	0.37 ± 0.01 ^a	2.50 ± 0.09 ^{ab}
T9	79.79 ± 0.53 ^{de}	-0.58 ± 0.15 ^{cd}	19.48 ± 0.38 ^e	7.18 ± 0.02 ^h	3.14 ± 0.06 ^{bc}	46.37 ± 1.91 ^j	2.60 ± 0.13 ^{ab}
T10	87.99 ± 0.43 ^h	-0.81 ± 0.52 ^{abc}	12.40 ± 0.06 ^b	8.20 ± 0.08 ⁱ	4.27 ± 0.40 ^{de}	28.06 ± 1.65 ^g	2.75 ± 0.13 ^{bc}
T11	95.88 ± 0.05 ⁱ	-0.22 ± 0.01 ^{ef}	1.90 ± 0.03 ^a	6.75 ± 0.04 ^{fg}	1.81 ± 0.06 ^a	0.31 ± 0.00 ^a	2.46 ± 0.01 ^{ab}
T12	74.84 ± 0.04 ^b	-0.39 ± 0.31 ^{def}	25.02 ± 0.45 ^g	6.01 ± 0.02 ^c	5.05 ± 0.15 ^{fg}	21.33 ± 1.17 ^{ef}	3.01 ± 0.04 ^{cde}
T13	71.32 ± 0.13 ^a	-0.37 ± 0.31 ^{def}	25.96 ± 0.26 ^h	5.66 ± 0.04 ^{ab}	6.21 ± 0.18 ^h	19.05 ± 0.86 ^d	3.10 ± 0.23 ^{cde}
T14	71.40 ± 0.41 ^a	-0.10 ± 0.38 ^f	26.11 ± 0.36 ⁱ	5.57 ± 0.02 ^a	6.46 ± 0.20 ^h	19.31 ± 0.84 ^{de}	3.16 ± 0.10 ^{de}

T= Tratamiento, CAA= Capacidad de absorción de agua, CSA= Capacidad de solubilidad en agua, CAac= Capacidad de absorción de aceite. Letras iguales en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

pH

El pH de las mezclas se encontró entre 5.57 a 8.35 (Tabla 2). El valor más alto se encontró en T6 que corresponde a la mezcla del 50% almidón de maíz y 50% del aislado de proteína de soya (Tabla 1). Mientras que el valor más bajo corresponde a los T13 y 14 con el 100% de cáscara de melón. El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales del pH mostró un valor del $R^2 = 0.9835$, el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.0001$). Los coeficientes de regresión del pH muestran (Tabla 3) que todas las interacciones (AB, AC y BC) presenta un efecto significativo ($p < 0.05$). Las interacciones AB y AC presentan un efecto ($p < 0.05$) negativo, y la interacción BC presenta un efecto significativo ($p < 0.05$) positivo. En la Figura 1d se muestran que el incremento del aislado de proteína de soya aumentó el pH en la mezcla, mientras que el aumento del contenido de almidón lo disminuyó. Por lo tanto, las mezclas con mayor concentración del aislado proteico de soya presentaron un pH ligeramente básico, y las mezclas con mayor concentración de cáscara de melón y almidón de maíz presentaron un pH ligeramente ácido. Estos resultados superiores a los reportados en otras fuentes (semilla de ébano (5.86-5.96) [14], semilla de calabaza (6.12-6.25 [13]) camote (5.68 – 5.86 [12]).

Tabla 3. Coeficientes de regresión de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las harinas compuestas de las mezclas de cáscara de melón, almidón de maíz y aislado de proteína de soya.

Coeficientes	Color			pH	CAA	CSA	CAac
	L*	a*	b*				
A	71.62	-0.24	25.86	5.67	6.47	18.75	3.14
B	95.67	-0.22	2.16	6.77	1.89	-0.42	2.48
C	81.75	-0.88	17.25	8.29	5.52	36.83	3.15
AB	-24.32*	-1.41*	33.03*	-2.14*	-1.11	8.30	-0.28
AC	-8.23	1.70*	13.73*	-3.05*	-7.29*	26.12	-0.50
BC	-5.42	-1.40*	12.15*	2.54*	0.87	30.91	-0.90
R ²	0.9917	0.9313	0.9950	0.9835	0.9126	0.8963	0.8087
p de F (modelo)	<0.0001	0.0002	<0.0001	<0.0001	0.0005	0.0009	0.0094

*Números en negritas indican coeficientes significativos ($p < 0.05$). A = Cáscara de melón, B = Almidón de maíz, CAA = Capacidad de absorción de agua, CSA = Capacidad de solubilidad en agua, CAac = Capacidad de absorción de aceite.

Propiedades funcionales

La CAA de las mezclas osciló entre 1.81 a 6.46 g/g (Tabla 2). Los valores más altos se encontraron en la mezcla (T13 y T14, Tabla 1) con el 100% de cáscara de melón y los valores más bajos en las mezclas (T8 y T11, Tabla 1) con el 100% de almidón de maíz. El modelo de regresión ajustado mostró un valor del $R^2 = 0.9126$, el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.0005$). Los coeficientes de regresión de la CAA muestran (Tabla 3) que la interacción AC presenta un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo. La Figura 1e se muestra que el incremento de la cáscara de melón incrementa la CAA, así como el aumento del contenido de almidón en la mezcla la disminuyó. Esto se debe a que la fibra contenida en la cáscara de melón absorbe más agua que la proteína contenida en el aislado de proteína de soya, por lo tanto, el incremento de la cáscara de melón y del aislado de proteína de soya en la mezcla incrementó la CAA. La presencia de proteína en la mezcla con almidón siempre produjo un aumento en la CAA, lo que demuestra una buena interacción agua-proteína y una elevada capacidad de retención de agua de la proteína sin desnaturalizar. La presencia de la fibra (presente en la cáscara de melón) aumentó en la CAA demostrando una buena interacción agua-fibra. La proteína y gránulo de almidón nativo parece afectar la unión de proteínas añadidas a la superficie de los gránulos cuyos datos apoyan un mecanismo de asociación en el que la proteína nativa atrae y retiene proteína añadida a la superficie de los gránulos, aumentando la cantidad de proteína capaz de unirse, y mantener esta interacción. Estos resultados sugieren el uso de estas harinas compuestas en el desarrollo de alimentos viscosos tales como sopas, salsas, productos horneados, etc, [9]. Los resultados de esta investigación se encuentran acorde a lo reportado en harinas, García et al. [15] en harina de quinchoncho (2.7-3.85 g/g), Amandikwa et al. [16] en harina de ñame (3.10-3.90 g/g). Superior al reportado por Mallek-Ayadi et al. [11] en cáscara de melón (5.36 g/g), Gallegos-Garza et al. [17] en cáscara de pepino (5.27 g/g) y por lo reportado por Mokhtar et al. [18] en polvo de residuos de aguaymanto (3.38 g/g).

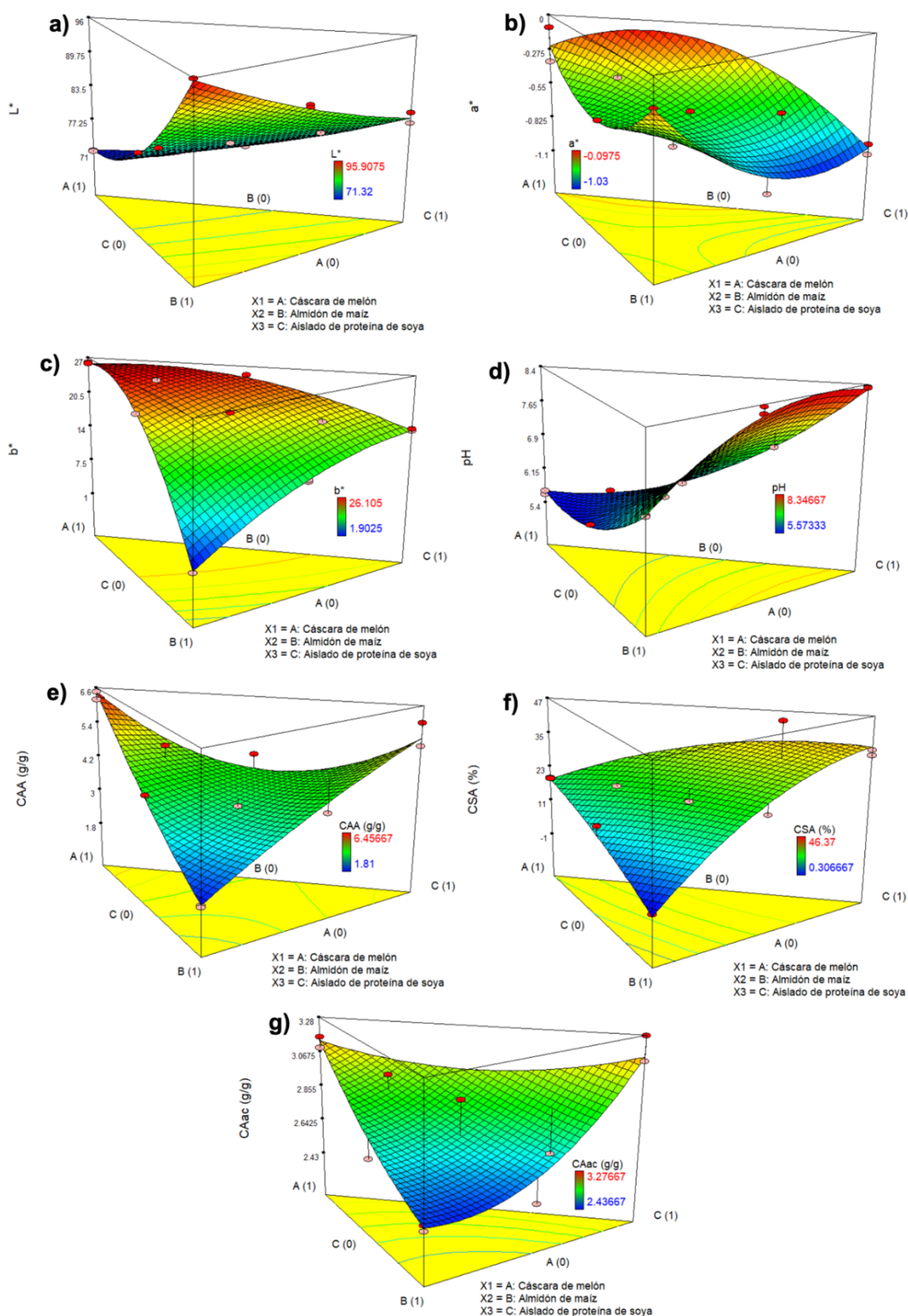


Figura 1. Efecto de la concentración de cáscara de melón/almidón de maíz/aislado de proteína de soya sobre a) L^* , b) a^* , c) b^* , d) pH, e) capacidad de absorción de agua (CAA), f) capacidad de solubilidad en agua (CSA) y g) capacidad de absorción de aceite (CAac).

La CSA de las mezclas fue de 0.31 a 46.37% (Tabla 2). El menor valor de CSA se encontró en T11 que corresponde a la mezcla con el 100% de almidón y el mayor valor a T9 que corresponde a la mezcla con 16.70% de cáscara de melón, 16.60% de almidón de maíz y 66.70% del aislado de proteína de soya. El modelo de regresión ajustado mostró un valor del $R^2 = 0.8963$, el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.0009$). Sin embargo, no se presentaron coeficientes significativos ($p > 0.05$). La Figura 1f muestra que el incremento del aislado proteico de soya en la mezcla aumenta la CSA, mientras que el aumento de la concentración del almidón de maíz en la mezcla disminuyó la CSA. Esto se debe a que la solubilidad de una proteína es la manifestación termodinámica del equilibrio entre las interacciones proteína-proteína y agua-proteína, que a su vez depende de la hidrofobicidad y naturaleza iónica de las mismas [13]. Los resultados de las CSA de la mezcla y con el 100% de cáscara de melón es menor al reportado por Mokhtar et al. [18] en polvo de residuos de aguaymanto (29.94%), así como en semilla de ébano (24.55-26.06%) [13].

La CAac osciló de 2.44 a 3.28 g/g (Tabla 2). En menor valor se encontró en T6 que corresponde a la mezcla del 50% almidón de maíz y 50% del aislado de proteína de soya (Tabla 1), el valor más alto se encontró en T2 que corresponde al 100% del aislado de proteína de soya. El modelo de regresión ajustado de la CAac mostró un $R^2 = 0.8087$, el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.0094$), sin embargo, no se presentaron coeficientes significativos ($p > 0.05$). En la Figura 1g se observa que el incremento del aislado de proteína de soya y el aumento de la cáscara de melón incrementó la CAac, mientras el aumento del almidón de maíz la disminuyó. Esto se debe a que la absorción de aceite implica el atrapamiento físico del aceite por los componentes de los alimentos y la afinidad no-polar de las cadenas de la proteína [13]. Los resultados son superiores a los reportados por Mokhtar et al. [18] en polvo de residuos de aguaymanto (1.26 g/g) y por lo reportado por Mallek-Ayadi et al. [11] en cáscara de melón (2.23 g/g). La CAac es una propiedad importante de los ingredientes utilizados en la formulación y estabilización de alimentos con alto porcentaje de grasa y de emulsión. De hecho, las cáscaras de melón y la mezcla con el aislado de proteína de soya pueden retener hasta dos veces su masa en aceite. Esta propiedad podría aprovecharse para mejorar la capacidad de retención de grasa de los alimentos, como los productos cárnicos, que normalmente se pierde durante la cocción. Esto puede ser benéfico para la retención del sabor y mejorar el rendimiento.

Trabajo a futuro

La presente investigación es parte del proyecto financiado por el Tecnológico Nacional de México, titulado "Aprovechamiento de la cáscara del melón en la elaboración de una botana a base de almidón de maíz y concentrado proteico de soya. El conocimiento de las evaluaciones realizadas en esta investigación, además de la determinación de la composición química, la capacidad antioxidante permitirá seleccionar la mezcla con las mejores características para la realización de la botana lista para comer.

Conclusiones

El uso de la cáscara de melón en la formulación de harinas compuestas elaboradas a base de almidón de maíz y aislado de proteína de soya produjo un oscurecimiento de las mezclas, aumentó la capacidad de absorción de agua y la capacidad de absorción de aceite. Los resultados obtenidos muestran que las harinas compuestas de mezclas de cáscara de melón/almidón de maíz/aislado proteico de soya pueden ser dirigidas a la investigación y al desarrollo e innovación de nuevos productos. Además, el uso de subproductos de melón ayuda a reducir la contaminación y dar un valor agregado a este desecho.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto "Aprovechamiento de la cáscara del melón en la elaboración de una botana a base de almidón de maíz y concentrado proteico de soya.", Clave: 13779.22-P.

Referencias

- [1] U. Rashid, H.A. Rehman, I. Hussain, M. Ibrahim and M.S. Haider, "Muskmelon (*Cucumis melo*) seed oil: A potential nonfood oil source for biodiesel production". *Energy*, vol. 36, no. 9, pp. 5632-5639, 2011.
- [2] R. Gómez-García, D.A. Campos, C.N. Aguilar, A.R. Madureira and M. Pintado, "Valorization of melon fruit (*Cucumis melo* L.) by-products: Phytochemical and biofunctional properties with emphasis on recent trends and advances". *Trends in Food Science & Technology*, vol. 99, pp. 507-519. 2020.
- [3] C. Rodríguez-Pérez, R. Quirantes-Piné, A. Fernández-Gutiérrez and A. Segura-Carretero, "Comparative characterization of phenolic and other polar compounds in Spanish melon cultivars by using high-performance liquid chromatography coupled to electrospray ionization quadrupole-time of flight mass spectrometry," *Food Research International*, vol. 54, pp.1519-1527. 2013.
- [4] N.M. Shofian, A.A. Hamid, A. Osman, N. Saari, F. Anwar, M.S.P. Dek and M.R Hairuddin, "Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits." *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 12, pp. 4678–4692. 2011.
- [5] V. Goulas and G.A. Manganaris, "Exploring the phytochemical content and the antioxidant potential of Citrus fruits grown in Cyprus." *Food Chemistry*, vol. 131, pp. 39-47. 2012.
- [6] S. Mallek-Ayadi, N. Bahloul and N. Kechaou, "Characterization, phenolic compounds and functional properties of *Cucumis melo* L. peels." *Food chemistry*, vol. 221, pp. 1691-1697. 2017.
- [7] C. Torres-León, R. Rojas, J.C. Contreras-Esquivel, L. Serna-Cock, R.E. Belmares-Cerda and C.N. Aguilar, "Mango seed: Functional and nutritional properties." *Trends in Food Science & Technology*, vol. 55, pp. 109-117. 2016.
- [8] M.A. Silva, T.G. Albuquerque, R.C. Alves, M.B.P. Oliveira and H.S. Costa, "Melon (*Cucumis melo* L.) by-products: Potential food ingredients for novel functional foods?." *Trends in Food Science & Technology*, vol. 98, pp.181-189. 2020.
- [9] B. Hernández-Santos, O., Quijano-Jerónimo and J. Rodríguez-Miranda, "Physical, chemical, techno-functional, and thermal properties of *Leucaena leucocephala* seed." *Food Science and Technology*, vol. 42, pp. 1-9. 2022.
- [10] S. Sroy, F.A. Miller, J.F. Fundo, C.L. Silva and T.R. Brandão, "Freeze-drying processes applied to melon peel: Assessment of physicochemical attributes and intrinsic microflora survival during Storage." *Foods*, vol. 11, no.10, pp. 1499. 2022.
- [11] S. Mallek-Ayadi, N. Bahloul and N. Kechaou, "Characterization, phenolic compounds and functional properties of *Cucumis melo* L. peels." *Food chemistry*, vol. 221, pp. 1691-1697. 2017.
- [12] L. Belkacemi, "Blanching effect on physicochemical and functional properties of flours processed from peeled and unpeeled white-fleshed sweet potato Algerian cultivar." *Food Science and Technology*, vol. 42, pp. 1-10. 2022.
- [13] J. Rodríguez-Miranda, B. Hernández-Santos, E. Herman-Lara, M.A. Vivar-Vera, R. Carmona-García, C.A. Gómez-Aldapa and C.E. Martínez-Sánchez, "Physicochemical and functional properties of whole and defatted meals from Mexican (*Cucurbita pepo*) pumpkin seeds." *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 47, no. 11, pp. 2297-2303. 2012.
- [14] B. Hernández-Santos, R. Santiago-Adame, R.O. Navarro-Cortéz, C.A. Gómez-Aldapa, J. Castro-Rosas, C.E. Martínez-Sánchez, M.A. Vivar-Vera, E. Herman-Lara and J. Rodríguez-Miranda, "Physical properties of ebony seed (*Pithecellobium flexicaule*) and functional properties of whole and defatted ebony seed meal." *Journal of Food Science and Technology*, vol. 52, no. 7, pp. 4483-4490. 2015.
- [15] O. García, C. Aiello, M.C.P. Chirino, J. Ruíz-Ramírez and I.A. Pons, "Caracterización físico-química y propiedades funcionales de la harina obtenida de granos de quinchoncho (*Cajanus cajan* check for this species in other resources (L.) Millsp.) sometidos a diferentes procesamientos." *Revista Científica UDO Agrícola*, vol.12, no. 4, pp. 919-928. 2012.
- [16] C. Amandikwa, M.O. Iwe, A. Uzomah and A.I. Olawuni, "Physico-chemical properties of wheat-yam flour composite bread." *Nigerian Food Journal*, vol. 33, no. 1, pp. 12-17. 2015.
- [17] M.M. Gallegos-Garza, S.A. Aguilar-Pérez, D.A. Guzmán-Díaz, J. Báez-González, G. Alanís- Guzmán and C.A. Amaya-Guerra, "Caracterización tecnofuncional de harinas obtenidas de la cascara y semillas de pepino (*Cucumis sativus*) y su aplicación en un alimento funcional." *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, vol. 3, pp. 602-606. 2018.
- [18] S.M. Mokhtar, H.M. Swailam and H.E.S. Embaby, "Physicochemical properties, nutritional value and techno-functional properties of goldenberry (*Physalis peruviana*) waste powder concise title: composition of goldenberry juice waste." *Food Chemistry*, vol. 248, pp. 1-7. 2018.

Evaluación de la fermentación anaerobia de los residuos RAC con *Bacillus subtilis* para la obtención de biomásas con aporte nutricional

Mercedes Romero-Jiménez¹, María Elena García-Reyes², Norma Alejandra Vallejo-Cantú³, Juan Manuel Méndez-Contreras⁴

¹División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9 No. 852, C.P. 94320, Orizaba Veracruz, México
merciromero93@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Química Ambiental

Resumen

Actualmente, la cantidad de biomasa residual de la caña de azúcar ha aumentado, representando altas concentraciones de contaminantes, que se acumulan y constituyen un problema ambiental. Debido a la quema de caña durante la cosecha y después de la zafra, se producen grandes cantidades de residuos sólidos, partículas y gases tóxicos. Actualmente, se han estudiado diversos usos potenciales a dichos residuos y se han descubierto los beneficios del material lignocelulósico presente en la biomasa residual, especialmente en residuos de caña de azúcar, puesto que contienen grandes propiedades nutritivas y una considerable cantidad de glucosa. El objetivo del estudio fue conocer las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los residuos y mediante fermentación con *Bacillus subtilis* obtener una biomasa con propiedades nutritivas y aprovechables las cuales brinden grandes beneficios para la alimentación en especies ganaderas. Las fermentaciones fueron evaluadas en concentraciones de (5, 10 y 15 % v/v) en tiempo de (48, 72 y 96 horas) con el fin de encontrar la concentración de inóculo y el tiempo recomendables, así como la calidad de la biomasa obtenida. Para validar los resultados se utilizó el análisis estadístico ANOVA y mediante el software MINITAB. Los resultados mostraron mejores condiciones para 10 % de inóculo a 96 h con un incremento en biomasa de 35.041 g/L y un rendimiento $Y_{xs}=3.613$ g/g y, una producción de ácido láctico de 7.5 g/L. Para el análisis de la calidad de la biomasa se obtuvo un incremento de proteínas 6.671 %, una concentración de microorganismos *Bacillus subtilis* de 2.27×10^4 UFC/mL y una disminución favorable de carbohidratos de 12.115 g/L. La fermentación mediante el microorganismo *Bacillus subtilis*, es considerada una alternativa para mejorar el valor nutritivo de los residuos al incrementar el valor de proteínas y obtener una buena concentración en microorganismos benéficos para su posible uso en la alimentación de especies ganaderas.

Palabra clave: RAC, sustrato, *Bacillus subtilis*, biomasa.

Abstrac

Currently, the amount of residual sugarcane biomass has increased, representing high concentrations of contaminants, which accumulate and constitute an environmental problem. The burning of sugarcane during the harvest and after the harvest produces large quantities of solid residues, particles and toxic gases. Currently, several potential uses of these residues have been studied and the benefits of the lignocellulosic material present in the residual biomass have been discovered, especially in sugarcane residues, since they contain great nutritional properties and a considerable amount of glucose. The objective of the study was to know the physical, chemical and microbiological properties of the residues and, by means of fermentation with *Bacillus subtilis*, to obtain a biomass with nutritious and usable properties that would provide great benefits for the feeding of livestock species. The fermentations were evaluated at concentrations of (5, 10 and 15 % v/v) in time (48, 72 and 96 hours) in order to find the inoculum concentration and the recommended time, as well as the quality of the biomass obtained. To validate the results, ANOVA statistical analysis and MINITAB software were used. The results showed better conditions for 10 % inoculum at 96 h with an increase in biomass of 35.041 g/L and a yield $Y_{xs}=3.613$ g/g and, a lactic acid production of 7.5 g/L. For the analysis of biomass quality, an increase in protein of 6.671 %, a concentration of *Bacillus subtilis* microorganisms of 2.27×10^4 CFU/mL and a favorable decrease in carbohydrates of 12.115 g/L were obtained. Fermentation by means of the microorganism *Bacillus subtilis* is considered an alternative to improve the nutritional value of the residues by increasing the protein value and obtaining a good concentration of beneficial microorganisms for their possible use in the feeding of livestock species.

Key words: SCR, Substrate, *Bacillus subtilis*, biomass

Introducción

Actualmente se generan grandes cantidades de biomasa durante la cosecha de caña de azúcar, la cual es quemada con la consecuente generación de gases de efecto invernadero y compuestos gaseosos: óxido de nitrógeno, monóxido de carbono, compuestos volátiles y semi volátiles, ocasionando daños al medio ambiente y efectos adversos a la salud [1]. Los residuos de caña de azúcar son de naturaleza orgánica y pueden ser transformados en productos con alto valor, su contenido de nutrientes presente en los residuos de caña de azúcar contiene una aceptable composición nutricional, dando un buen aporte de fibra, sacarosa y glúcidos solubles aprovechables [2].

La fermentación anaerobia con bacilos y lactobacilos es considerada una alternativa para el tratamiento de residuos lignocelulósicos, es un proceso por el cual la materia orgánica es catabolizada y descompuesta en ausencia de oxígeno mediante microorganismos anaeróbicos (bacterias), de esta forma la fermentación anaerobia como método de tratamiento de residuos permite disminuir la cantidad de materia orgánica y la obtención de subproductos [3].

Los probióticos son aquellos microorganismos vivos, al ser administrados en cantidades adecuadas, proporcionan un beneficio a la salud del huésped, sus principales características para ser consideradas como probióticos son: a) no dañar al huésped, b) ser aceptados por el huésped a través de la ingestión, c) capacidad de llegar a los órganos y ejercer su veneficio [4], así mismo, los probióticos son estimuladores del sistema inmune y participan en la corrección del balance microbiano natural del huésped [5]. *Bacillus subtilis* destaca como agente probiótico, por la acción de las enzimas hidrofílicas extracelulares que actúan sobre polisacáridos, ácidos nucleicos y lípidos, no causa toxicidad, además cuenta con una acción bactericida y fúngica [6]. Tomando en cuenta los nutrientes presentes en los residuos de caña de azúcar, se realizó la fermentación anaerobia utilizando *Bacillus subtilis* como bacteria probiótica.

Una de las alternativas para disminuir la quema de los residuos es la obtención de subproductos a partir de los residuos agrícolas lignocelulósicos, siendo una alternativa dentro de la nutrición animal, al responder eficientemente al consumo de fibra, lo que hace posible aprovechar subproductos y residuos agrícolas que aporten nutrientes y así mismo disminuir costos de producción [7]. En este trabajo se presenta la evaluación de las propiedades fisicoquímicas de los residuos de cultivo de caña de azúcar, la mejor dosis obtenida mediante la fermentación anaerobia y la calidad de la biomasa para su posible uso en la alimentación de especies ganaderas.

Metodología

Materiales

La materia prima utilizada en este trabajo fueron residuos de caña de azúcar (RAC) obtenida de campos agrícolas del municipio de Atzacan, Veracruz, para su caracterización fisicoquímica y la bacteria *Bacillus subtilis* de marca comercial SERENADE, utilizada para fermentación anaerobia en diferentes concentraciones v/v de inóculo y sustrato, para la obtención de una biomasa con aporte nutricional.

Preparación

Tratamiento de los residuos

La muestra recolectada constó de tallos grandes y hojas secas, las cuales fueron cortadas en trozos pequeños de 5 cm, para retirar el porcentaje de humedad se deshidrataron en estufa de secado a 115 °C durante 24 horas. Para la molienda se colocó una porción de residuos secos en un molino de mano hasta obtener un polvo fino, posteriormente se homogenizó la muestra a través de tamiz de malla 50 mm.

Se suspendió 5 g de residuo en un volumen de 75 mL de agua destilada para obtener una dilución 1:15 y así tener un valor de sólidos totales de 5.22 %.

Análisis fisicoquímico a los residuos de caña de azúcar RAC

Para el estudio de la fermentación anaerobia primero se realizó la caracterización fisicoquímica, para muestra cruda y tratada térmicamente. El tratamiento térmico consistió en someter la muestra diluida 1:15 a 90 °C durante 30 minutos, para solubilizar compuestos orgánicos y eliminar agentes patógenos presentes. Los parámetros evaluados fueron: físicos (pH, ST, STV), químicos (carbohidratos, proteínas, lignina, nitrógeno) y microbiológicos (coliformes fecales, *Salmonella spp.*).

Propagación de la bacteria probiótica *Bacillus subtilis*

La bacteria comercial de marca SERENADE (*Bacillus subtilis*) se propagó en medio Agar nutritivo, tomando una cantidad considerable del recipiente y sembrando la bacteria mediante estrías en cajas Petri conteniendo el medio y previamente esterilizadas, la muestra se incubó en estufa de cultivo durante 24 horas a 115 °C, observando su crecimiento posterior al tiempo de incubación.

Preparación de sustrato e inóculo

Se preparó un volumen de 1500 mL de sustrato, tratados térmicamente a 90 °C durante 30 minutos, dejando enfriar la muestra durante una hora y colocándolo en refrigeración. Posteriormente, se preparó el inóculo a utilizar, la propagación se realizó en medio sólido a medio líquido, mediante medio de cultivo de caldo MRS esterilizado en autoclave, se llevó a incubación en una incubadora modelo ZHWY-100B durante 24 horas, para una concentración celular de 10^7 UFC/mL.

Desarrollo

Fermentación anaerobia mediante la bacteria probiótica *Bacillus subtilis*

Las fermentaciones anaerobias se llevaron a cabo en matraces Erlenmeyer con capacidad de 250 mL con un volumen útil de 150 mL de sustrato en concentraciones de (5 %, 10 % y 15 % v/v) de inóculo, con tiempos de (48, 72 y 96 horas) tanto para muestra y dos réplicas. Las muestras preparadas fueron colocadas en una centrífuga modelo ZHWY-100B en constante agitación a temperatura de 36 °C y 110 rpm observado en la Figura 1, durante el periodo de incubación se tomó 6 mL de muestra cada 6 horas, realizando análisis de: carbohidratos, ácido láctico, biomasa, para obtener la mejor concentración y el mejor tiempo.



Figura 1. Fermentaciones anaerobias en concentraciones de 5 %, 10 % y 15 % v/v.

Biomasa de residuos de caña de azúcar RAC

La biomasa obtenida fue analizada al finalizar las fermentaciones anaerobias, las muestras fueron centrifugadas en centrífuga Hermle Laboratory GMB H a 10,000 rpm durante 10 minutos, para retirar el medio líquido observado en la Figura 2, obtenida la biomasa en estado sólido, posteriormente se realizaron análisis de: Nitrógeno, proteínas, carbohidratos, ST y conteo celular.



Figura 2. Biomasa de fermentaciones anaerobias con *Bacillus subtilis*

Resultados y discusión

Análisis fisicoquímico de los residuos

Los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica para muestra cruda y tratada térmicamente no mostraron diferencias significativas en los análisis químicos, sin embargo, se obtuvo un decremento favorable en cuanto a los agentes patógenos, obteniendo una concentración por debajo de los límites máximos permisibles de acuerdo a la norma NOM-004-SEMARNAT-2002. (<1000 NMP/g ST). Obteniendo valores para muestra cruda de (18.73 g/L) en carbohidratos, nitrógeno total (0.13 g/kg ST), proteínas (0.83 %), lignina (27.22 %), ST (5.22 % m/m), STV (95.77 % m/m), coliformes (93,000), *salmonella* (56,000), para muestra tratada se obtuvo (23.65 g/L) en carbohidrato, nitrógeno total (0.15 g/kg ST), proteína (0.97 %), lignina (20.6 %), ST (7.50 % m/m), STV (96.05 % m/m), y una disminución en agentes patógenos (<1000) NMP/g ST, *salmonella spp* (<1000) NMP/g ST. Obteniendo un valor similar reportado por [8] en bagazo de caña de azúcar, reportando en carbohidratos (39.53 %), proteínas (1.15 %) mayor a lo obtenido, lignina (23.8 %) valor menor a lo obtenido y cenizas (2.87 %).

Evaluación de la concentración de inóculo

Al evaluar las fermentaciones anaerobias en concentraciones de inóculo de (5 %, 10 % y 15 % v/v) en tiempo de (48, 76 y 96 horas), los mejores resultados obtenidos de acuerdo a la comparación de medias realizando un análisis de varianza (ANOVA) ($\alpha=0.05$), mediante el uso de software MINITAB, se muestran en la Figura 3.

Se observa una mayor producción con inóculo de 10 % a 96 horas con un incremento en biomasa de 35.041 g/L y un rendimiento de $Y_{xs}=3.613$ g/g mayor a 0.48 g/g obtenido por [9] al evaluar paja de trigo empleando *Pseudomonas aeruginosa*. La producción de ácido láctico inicial fue de 3.75 g/L y una producción final de 7.5 g/L obteniendo un valor mayor a 5 g/L reportado por [10] al evaluar 8 especies diferentes de *Bacillus subtilis*. Para la disminución de carbohidratos se obtuvo un valor de 9.697 g/L removidos durante la fermentación en tiempo de 96 horas. Los resultados obtenidos muestran una aceptable remoción de carbohidratos, debido a que los valores tienden a bajar en comparación a los valores iniciales obtenidos a una concentración inicial de 23.65 g/L en carbohidratos, lo cual se debe al tratamiento de la fermentación anaerobia con *Bacillus subtilis* al ser su principal fuente de consumo de sustrato, por consiguiente, esta influye en la producción de biomasa obteniendo una mayor concentración y así mismo una producción mayor de ácido láctico debido a la capacidad de *Bacillus subtilis* en condiciones de fermentación, favoreciendo a la producción de ácido láctico.

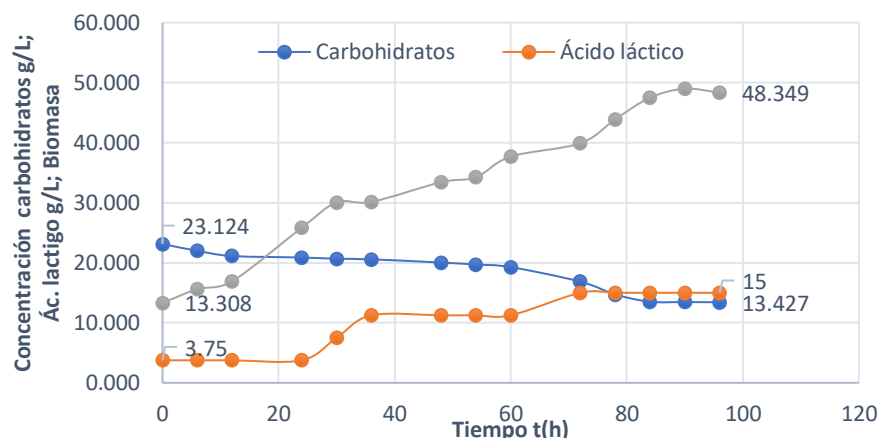


Figura 3. Producción de ácido láctico, biomasa y disminución de carbohidratos

Calidad de biomasa de residuos cañeros

En la Tabla 1, se muestra los resultados de los análisis de la biomasa obtenida a partir de los residuos de caña de azúcar RAC mediante la fermentación anaerobia con *Bacillus subtilis* a una concentración de 10 % de inóculo y 96 horas.

En cuanto al valor de proteínas se obtuvo un mayor porcentaje con una concentración final de 6.671 %, en comparación al valor inicial sin tratamiento con *Bacillus subtilis*, un valor menor a 12.69 % generado por [11] en residuos de rastrojo de maíz, el valor obtenido puede deberse al trabajo beneficioso de la bacteria láctica, la cual mejora la fermentación y la actividad bacteriana, beneficiando la incorporación de la materia y elevando el contenido proteico, así mismo el contenido de nitrógeno tuvo un incremento de 0.15 g/kg ST a 1.324 g/kg ST debido a que tiene una relación directa entre el contenido de proteínas. El contenido de carbohidratos disminuyó significativamente de 23.124 g/L a 12.115 g/L por efecto de la fermentación, los ST Y STV representa diferencias significativas, debido a que la biomasa del tratamiento final constó de materia seca y no diluida como la obtenida inicialmente, los incrementos en ST se deben a la concentración por la generación de biomasa obtenida y la pérdida de agua durante la fermentación, lo que justifica los fenómenos de incrementos de nutrientes y otros compuestos en la biomasa final. Así mismo, los STV representan la materia orgánica presente en la biomasa posterior al tratamiento fermentativo con *Bacillus subtilis*. De acuerdo a [12] reporto ST (g ST/g biomasa) de (0.7073) y SV (g SV/g biomasa) de (0.0532), para gabazo de caña de azúcar con pretratamiento alcalino en un intervalo de SV (% ST) 98 %, así mismo menciona que el pretratamiento alcalino es una alternativa que puede ser utilizada para incrementar la biodegradabilidad del bagazo de caña de azúcar.

Tabla 1. Calidad de biomasa obtenida utilizando *Bacillus subtilis*

Parámetro	Valor		Unidad
	Inicial sin tratamiento	Final con tratamiento	
Nitrógeno	0.15	1.324	g/kg ST
Proteínas	0.97	6.671	%
Carbohidratos	23.65	12.115	g/L
Conteo celular	----	2.27X10 ⁴	UFC/mL
ST	5.22	16.464	% m/m
STV	96.05	97.099	% m/m

La cantidad de enzimas presentes en la biomasa final fue de una concentración de 2.27x10⁴ UFC/mL, indicando propiedades microbiológicas apropiadas en la biomasa obtenida, de acuerdo a [4] al analizar residuos agroindustriales con agentes probióticos encontró propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la materia obtenida la cual puede ser utilizada como producto probiótico. Así mismo, estudios han demostrado que *Bacillus subtilis* como probiótico es seguro para la utilización en alimento sin causar efectos negativos al medio ambiente

y su acción principal es la estabilidad microbiana intestinal, favoreciendo el incremento de microorganismos benéficos [6].

Trabajo a futuro

Uno de los trabajos que se pueden analizar a futuro es la implementación de otra bacteria probiótica en los residuos y comparar la influencia de ambos, así mismo la biomasa obtenida se puede probar en especies ganaderas para evaluar el rendimiento al utilizar una biomasa con microorganismos probióticos.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que la biomasa obtenida a partir de la fermentación presenta un valor nutricional aceptable, tanto en sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas, mientras tanto el contenido de proteínas tuvo un incremento favorable al utilizar *Bacillus subtilis* durante la fermentación, así mismo la actividad microbiana en la biomasa presentó una concentración final de 2.27×10^4 UFC/mL obtenido una biomasa rica en microorganismos probióticos, la cual puede ser utilizada para alimento de especies ganaderas, debido a que contiene el agente probiótico *Bacillus* que contribuye a la mejora del ecosistema intestinal del huésped favoreciendo al desarrollo de bacterias benéficas y mejorando la digestión alimentaria, por otra parte, la fermentación mediante agentes microbiológicos es una alternativa para mejorar el valor nutritivo de los residuos y evita la quema que provocan gases de efecto invernadero liberados al medio ambiente. Este trabajo contribuye con el desarrollo de nuevas estrategias de manejo integral de residuos sólidos agrícolas, ofreciendo ventajas ambientales y potenciales beneficios de la rentabilidad para los productores de productos primarios.

Referencias

- [1] A. Santucho Cainzo, L. F. Calderari, D. H. Corregidor Carrió y E. M. Jaén, «Método alternativo para la evaluación de la polución atmosférica causada por la quema de biomasa en plantaciones de caña de azúcar,» *Anales AFA*, pp. 15-20, 2019.
- [2] J. H. Vera Rodríguez, T. L. L. Medranda Parraga, J. A. Sigüencia Chuya, R. A. Mendieta Franco y M. J. Pérez Gualpa, «Caracterización nutricional de los residuos orgánicos en la caña de azúcar del cantón La Troncal,» *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 2021.
- [3] A. Helguero Gutiérrez, L. Bustillos Peña y J. G. Hernani Díaz, «Obtención de biogás mediante la fermentación anaerobia de estiércol,» *Revista Estudiantil AGRO-VET*, pp. 185-191, 2018.
- [4] J. E. Miranda-Yuquilema, A. Marin-Cárdenas, D. Sánchez-Macías y Y. García-Hernández, «Obtaining, characterization and evaluation of two candidate preparations for probiotics developed with agroindustrial waste,» *MVZ Córdoba*, 2018.
- [5] M. d. L. Pérez-Chabela, Y. M. Alvarez-Cisneros, J. Soriano-Santos y M. A. Pérez-Hernández, «Los probióticos y sus metabolitos en la acuicultura. Una Revisión,» *Hidrobiológica*, pp. 93-105, 2020.
- [6] T. Medina-Saavedra, G. Arroyo-Figueroa, C. Herrera-Méndez y L. Mexicano-Santoyo, «*Bacillus subtilis* como probiótico en avicultura: aspectos relevantes en investigaciones recientes,» *revistasabanico*, 2017.
- [7] J. Vera, R. Lazo, D. Barzallo y C. Galvin, «Caracterización química y degradabilidad in situ de residuos orgánicos como alternativa alimenticia para bovinos,» *Ecuadorian Science Journal*, pp. 1-14, 2021.
- [8] C. Cabrera-Ayala y C. Novoa-Izaguirre, «Influencia de la concentración y temperatura de fermentación de azúcares reductores obtenidos a partir de hidrolizado de bagazo de caña de azúcar, en la obtención de un biopolímero empleando *Bacillus subtilis*,» *Agroindustrial Science*, pp. 17-28, 2016.
- [9] E. Bazán-Lugo, C. G. Álvarez-Cárdenas y A. Totosa S., «Efecto del pretratamiento de la paja de trigo sobre el rendimiento de biomasa y la producción de un extracto con actividad celulolítica empleando *Pseudomonas aeruginosa*,» *Acta Universitaria* 26-33, vol. 27, 2017.
- [10] A. Castells Román, «Evaluación del potencial de producción de ácido láctico mediante cepas de *Bacillus subtilis*,» 2018.
- [11] L. Aguirre, R. Abad, V. Apolo, T. Katherine, C. Israel, J. Damián, C. Yesmani, T. Manuel y C. Jorge, «Caracterización y mejoramiento de residuos agrícolas para uso en la alimentación animal,» 2017.
- [12] A. González-Suárez, G. Hernández-Alfonso y I. Reyes-Pereda, «Pretratamiento alcalino de bagazo de caña para mejorar la producción de biometano,» *Revista Centro Agrícola*, pp. 79-88, 2019.

Proceso de secado convectivo de hojuelas de calabaza (*Cucurbita pepo* L.)

Alfredo Domínguez Niño ^{1*}, Omar Javier Salinas ², Beatriz Castillo Téllez ⁵, Octavio García Valladares ⁵
Margarita Castillo Téllez ⁵

^{1*}Instituto de Energías Renovables aldoni@ier.unam.mx, ² Universidad Tecnológica de Tehuacán omar.javier@alumno.uttehuacan.edu.mx ³ Centro Universitario de Tonalá beatriz.castillo@academicos.udg.mx ⁴Instituto de Energías Renovables ogv@ier.unam.mx ⁵Universidad Autónoma de Campeche mcastillo@uacam.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En este trabajo se utilizó un secador de convección forzada para deshidratar hojuelas de calabaza *Cucurbita pepo* L. Los factores estudiados fueron temperatura de secado (50 °C, 60 °C, y 70 °C) y velocidad de aire (2 m/s, 4 m/s, y 6 m/s). Los efectos de las condiciones de operación de secado sobre hojuelas de calabaza *Cucurbita pepo* L. fueron determinadas usando un diseño experimental 3² con tres réplicas. Las mejores condiciones de operación fueron temperatura de secado de 60 °C y velocidad de aire de 4 m/s. Bajo estas condiciones de secado se obtuvo un producto deshidratado con un contenido de humedad de 7.37 % y actividad de agua de 0.193.

Palabras clave: *Cucurbita pepo* L., secado convectivo, análisis de color

Abstract

In this work, a forced convection dryer was used to dehydrate pumpkin *Cucurbita pepo* L. slices. The factors studied were drying temperature (50 °C, 60 °C, and 70 °C) and air velocity (2 m/s, 4 m/s, and 6 m/s). The effect of operating conditions on pumpkin slices *Cucurbita pepo* L. drying was determined using a randomized experimental design 3² with three replications. The best drying conditions were drying temperature at 60 °C and air velocity of 4 m·s⁻¹. Under these conditions, a dried product with 7.37 % moisture content and 0.193 of water activity was obtained.

Key words: *Cucurbita pepo* L., Convective drying, color analysis

Introducción

La calabacita (*Cucurbita pepo* L.) es un cultivo estacional que se cultiva en climas templados, fríos y cálidos de baja altitud, con mayor frecuencia en Sonora (180,585 toneladas), Puebla (62,053 toneladas), Sinaloa (51,022 toneladas), Michoacán (39,828 toneladas) e Hidalgo (32, 919 toneladas). La calabacita *Cucurbita pepo* L. puede ser de color verde claro y oscuro ya veces tiene pequeñas manchas blancas dependiendo de la variedad. México ocupa el sexto lugar en producción a nivel mundial con 550,410 toneladas [1]. En México, cuando las frutas y hortalizas no cumplen con los estándares internacionales para ser exportadas son descartadas por ser productos perecederos. Por otro lado, el almacenamiento a bajas temperaturas por debajo de los 10 °C provoca daños físicos que se traducen en una vida útil y consumo de energía cortos. La conservación de los alimentos es importante para la seguridad y la protección; por lo tanto, el secado es uno de los métodos esenciales para conservar y mejorar la vida útil sin conservantes [2]. Además, el contenido de humedad y la actividad del agua del proceso de secado se reducen para disminuir las reacciones bioquímicas, químicas y microbiológicas. Se han realizado algunos estudios sobre la conservación de calabacita *Cucurbita pepo* L. como escaldado antes de la deshidratación [3], secado al vacío en microondas [4], liofilización y secado al aire [5], hidrosecado conductivo [6], rehidratación osmótica [7], secado solar de capa fina [8]. En la literatura revisada no se encontraron estudios sobre el costo de producción y análisis colorimétrico de hojuelas de *Cucurbita pepo* L. La mayoría de los estudios se han centrado en las propiedades físicas y químicas como carotenoides [4] y atributos texturales [5], vitaminas

[9]. Por lo tanto, este trabajo evaluó el costo de producción, el consumo de energía y las propiedades colorimétricas del proceso de secado en hojuelas de calabaza *Cucurbita pepo* L. a bajas temperaturas de secado.

Metodología

Material fresco

La calabacita *cucurbita pepo* L., fue donada por productores de vegetales de la ciudad de Altepexi, Puebla, México. El periodo de cosecha fue de enero a mayo del 2020. La preparación de la muestra se realizó cortando hojuelas de calabacita *cucurbita pepo* L. con un cortador de acero inoxidable. La Figura 1 muestra el procedimiento realizado para el proceso de secado.

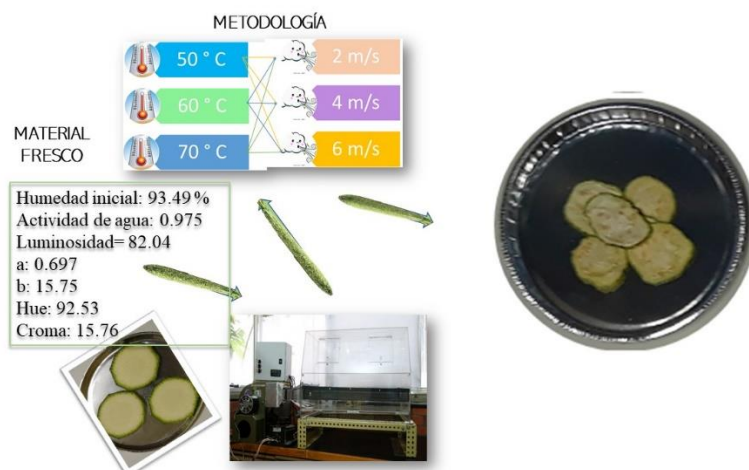


Figura 1. Metodología para el proceso de secado de hojuelas de calabacita (*Cucurbita pepo* L.)

Descripción del secador

Se utilizó un secador de convección forzada, el cual fue diseñado, construido y evaluado en el Instituto de Energías Renovables, UNAM, México (Figura 2).

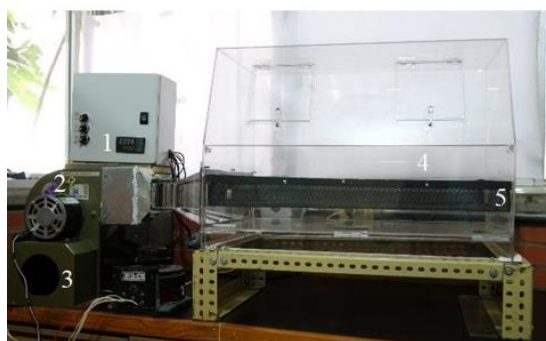


Figura 2. Secador de convección forzada diseñado en IER-UNAM (1. Panel de control, 2. Resistencia eléctrica, 3. Ventilador, 4. Cámara de secado, 5. Charola de secado).

La cámara de secado está hecha de acrílico transparente. Dentro de la cámara de secado hay una bandeja con un área de 0.35 m². El aire puede circular por la parte superior y/o inferior de la bandeja de secado y circula de manera longitudinal por la bandeja de secado hacia el exterior. Para la determinación experimental se utilizaron velocidades de aire de secado de 0, 0.5 y 1 m·s⁻¹, temperatura de secado de 50 °C, 55 °C y 60 °C y tamaño de

partícula de 0.5 mm, 25 mm y 50 mm. EL ventilador tiene una capacidad máxima de flujo volumétrico de 570 m³ ·h⁻¹ y un sistema de calentamiento que consiste de 3 resistencias eléctricas de 1500 W cada uno. El aire caliente es impulsado por un motor de 1/20 hp acoplado a un ventilador. Las dimensiones del secador son 60 cm x 40 cm x 40 cm. En la Figura 1 se presentan los elementos principales que constituyen el secador de convección forzada.

Métodos de análisis

Una muestra de 3 g de calabaza, fue colocada y distribuida en la charola de aluminio para la determinación de humedad a 105 °C utilizando una termobalanza (OHAUS, MB45 con una sensibilidad de 0.001g). La actividad de agua de las muestras secas fue determinada a temperatura constante (25 °C) mediante un medidor de actividad de agua (Higrolab C1). Las determinaciones fueron realizadas por triplicado. Las propiedades de color de las hojuelas de pera fueron determinadas mediante el uso de un colorímetro portable (NR60CP). El equipo fue calibrado con placas blanca y negra. Los parámetros de color fueron determinados por reflectancia y expresados en términos de *L* (luminosidad), *a* (rojo-verde), *b* (amarillo-azul), *H* (tono) y *C* (croma) saturación o intensidad. La diferencia de color (ΔE) entre el producto fresco y el seco fue calculada utilizando la siguiente ecuación.

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

Donde:

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_{Seco} - L_{Fresco} \\ \Delta a &= a_{Seco} - a_{Fresco} \\ \Delta b &= b_{Seco} - b_{Fresco}\end{aligned}$$

Diseño experimental

El efecto de las condiciones de operación de la cucúrbita pepo L., fue determinada utilizando un diseño experimental aleatorio 32 con tres réplicas. Los factores estudiados fueron temperatura de secado (50 °C, 60 °C, y 70 °C) y velocidad de aire (2 m/s, 4 m/s, y 6 m/s). El análisis estadístico fue realizado empleando el software Minitab 16, en los que los tratamientos fueron considerados significativamente diferentes a ($p \leq 0.05$). Las variables de respuesta fueron la humedad final, actividad de agua, y diferencia de color.

Tabla 1. Diseño experimental del proceso de secado de hojuelas de calabaza (*Cucurbita pepo* L.)

Variables independientes	Símbolo	Variables codificadas		
		-1	0	+1
Temperatura (°C)	X ₁	50	60	70
Velocidad del aire (m/s)	X ₂	2	4	6

Resultados y discusión

Cinéticas de secado

La Figura 3 muestra la cinética de secado de hojuelas de cucúrbita pepo a 50 °C a 2 m/s, 4 m/s y 6 m/s. Se observó de manera clara que las muestras deshidratadas a 6 m/s fueron las más rápidas durante el proceso de secado, llegando a peso constante a partir de los 120 minutos. De igual manera se observa que a medida que incrementa la velocidad de flujo de aire de 2 m/s a 6 m/s, el proceso de deshidratación es más eficiente.

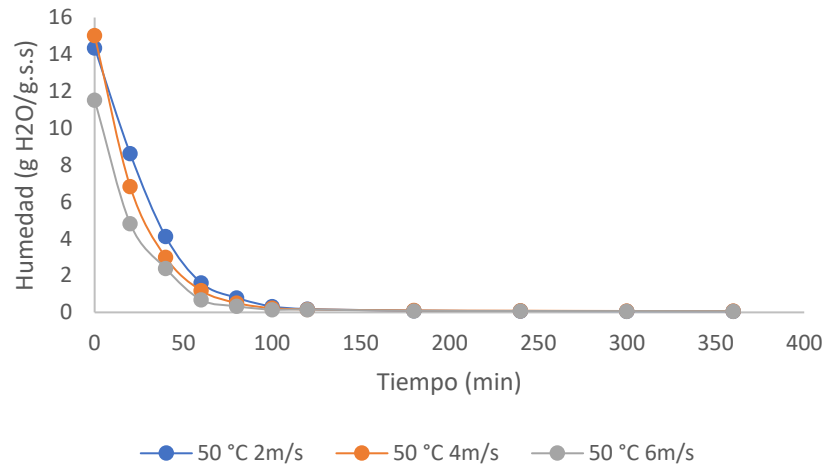


Figura 3. Cinética de secado de hojuelas de calabaza a 50 °C de temperatura y velocidad de aire controlada a 2 m/s, 4 m/s y 6 m/s.

La Figura 4 muestra la cinética de secado de hojuelas de cucúrbita pepo a 60 °C a 2 m/s, 4 m/s y 6 m/s. Se observó de manera clara que las muestras deshidratadas a 6 m/s fueron las más rápidas durante el proceso de secado, llegando a peso constante a partir de los 120 minutos.

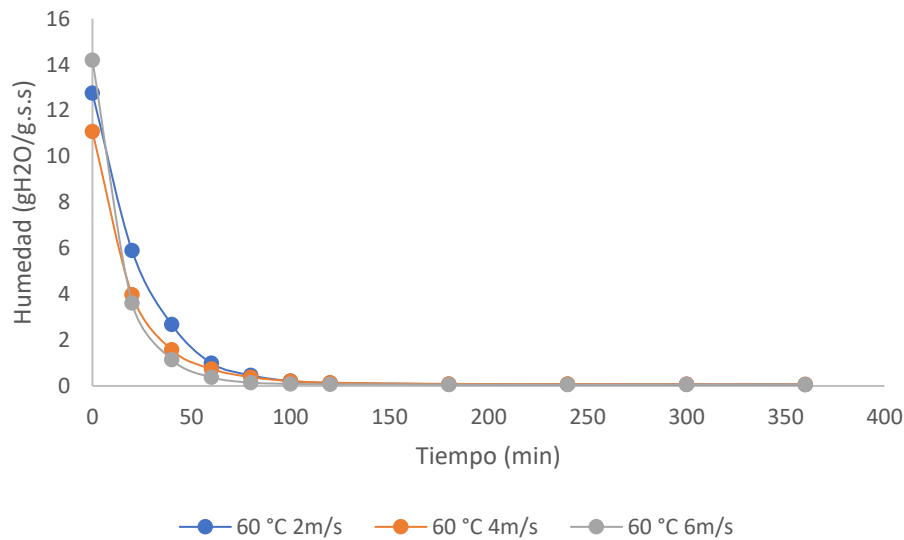


Figura 4. Cinética de secado de hojuelas de calabaza a 60 °C de temperatura y velocidad de aire controlada a 2 m/s, 4 m/s y 6 m/s.

La Figura 5 muestra la cinética de secado de hojuelas de cucúrbita pepo a 70 °C a 2 m/s, 4 m/s y 6 m/s. Se observó de manera clara que las muestras deshidratadas a 6 m/s fueron las más rápidas durante el proceso de secado, llegando a peso constante a partir de los 120 minutos.

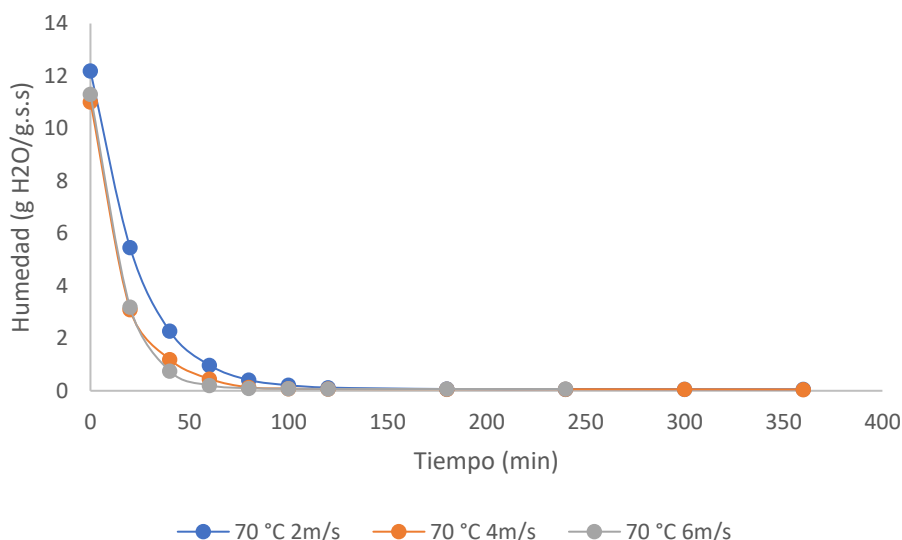


Figura 5. Cinética de secado de hojuelas de calabaza a 50 °C de temperatura y velocidad de aire controlada a 2 m/s, 4 m/s y 6 m/s.

El contenido de humedad disminuye a medida que aumentó la temperatura de secado de 50 °C a 70 °C; por otro lado, no se observó efecto significativo de la velocidad de aire sobre el contenido de humedad final de las hojuelas de calabaza. De acuerdo a los resultados observados en las Figuras 3, 4, y 5, las hojuelas de calabaza pueden prolongar su vida de anaquel debido a la baja disponibilidad de agua para las reacciones bioquímicas [10]. La Tabla 2 muestra los valores de actividad de agua final del producto deshidratado. De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 2 la actividad de agua osciló en el rango de 0.147 a 0.420; estos valores indican que el crecimiento de muchos microorganismos dañinos es inhibido cuando los valores de actividad de agua se encuentran por debajo de 0.6 o cuando la humedad final es menor al 10 % [11].

Tabla 2. Resultados experimentales del proceso de secado de hojuelas de calabaza (*Cucurbita pepo* L.)

Corrida	Código		Variables de respuesta		
	X ₁	X ₂	Contenido de humedad (%)	Actividad de agua	Diferencia de color ΔE
1	-1	-1	12.44	0.341	5.73
2	-1	0	12.27	0.363	15.29
3	-1	1	11.52	0.420	12.58
4	0	-1	7.95	0.177	9.26
5	0	0	7.37	0.193	11.54
6	0	1	7.17	0.200	8.87
7	1	-1	7.57	0.147	8.44
8	1	0	7.23	0.229	10.42
9	1	1	7.03	0.197	8.90

X₁= Temperatura (°C), X₂= Velocidad de aire, ΔE= Diferencia de color

El color final del producto es un criterio de aceptabilidad para los productos deshidratados, algunos alimentos pierden color durante el proceso de secado debido a la oxidación de sus componentes una vez que están expuestos a la luz y al calor. De acuerdo a la Tabla 2, los valores de diferencia de color oscilaron en un rango de 5.73 a 15.29 dichos valores demuestran una gran diferencia de color con respecto a la muestra inicial. De acuerdo a los niveles descriptivos presentados por Hii and Law [12], cuando los productos presentan niveles de 0 a 1.5 la diferencia con respecto al estándar es ligeramente diferente; cuando los niveles van de 1.5 a 3 la diferencia de color es notoria y los valores por arriba de 12 unidades presentan una diferencia de color muy obvia. En este

caso, los valores obtenidos durante la experimentación se encontraron por arriba de las 5 unidades por lo cual la diferencia de color es alta.

Trabajo a futuro

Se tiene planeado realizar un estudio del costo de producción del proceso de secado de las hojuelas de flor de calabaza y análisis de rehidratación empleando diferentes medios de rehidratación, de igual manera, se profundizará en el análisis colorimétrico evaluando parámetros como luminosidad, tonalidad y cromaticidad.

Conclusiones

Las hojuelas de calabaza alcanzaron su estabilidad microbiológica durante el proceso de secado por convección forzada, prolongando así su vida de anaquel, el producto deshidratado tiene aplicaciones prácticas como en la formulación de alimentos, aditivo en diferentes platillos tradicionales, puede ser combinado con otros productos deshidratados y consumido como botana o ser la base en alimentos formulados empleados en escuelas, oficinas y el sector doméstico.

Agradecimientos

A investigadores por México CONACYT y al proyecto de secado solar de productos agropecuarios, PAPIIT IN103021, desarrollado en el laboratorio de secado solar.

Referencias

- [1] SIAP. 2018. Atlas agroalimentario 2012-2018: la transformación productiva del campo mexicano. Agosto 14. <https://www.gob.mx/siap/articulos/atlas-agroalimentario-2012-2018-la-transformacion-productiva-del-campo-mexicano>
- [2] J. De Jesús, M. Castillo, B. Castillo, F. Lezama, Mejía, P and V. Gómez (2021). Improvements and evaluation on bitter orange leaves (*Citrus aurantium* L.) solar drying in humid climates. *Sustainability* (Switzerland), 13(16): 1-17. <https://doi.org/10.3390/su13169393>
- [3] A. Quintero, A.L de la Paz, J.A Velázquez, J.A. Jiménez, G.B. Cánovas, and A.A. Morales. (1998). Optimización del escaldado de calabacita criolla (*Cucurbita pepo*) deshidratada a temperaturas bajas y tiempos largos/Optimization of stepwise blanching of dehydrated zucchini (*Cucurbita pepo*). *Food Science and Technology International*, 4 (3): 159-167. <http://fst.sagepub.com/content/4/3/159>
- [4] J. Song, X. Wang, D. Li, and C. Liu. (2017). Degradation kinetics of carotenoids and visual colour in *Cucurbita pepo* L. (*Cucurbita máxima* L.) slices during microwave-vacuum drying. *International Journal of Food Properties*, 20 (1): S632-S643. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1306553>
- [5] R.P. Guiné, and M.J.B. Barroca. (2011). Effect of drying on the textural attributes of bell pepper and *Cucurbita pepo* L. *Drying Technology*, 29 (16): 1911-1919. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.596297>
- [6] J. M. Ortiz, and C.I. Ochoa. (2015). Heat transfer mechanisms in conductive hydro-drying of *Cucurbita pepo* L. (*Cucurbita maxima*) pieces. *Drying Technology*, 33 (8): 965-972. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1009538>
- [7] Y.K. Pan, L.J. Zhao, Y. Zhang, G. Chen, and A.S. Mujumdar. (2003). Osmotic dehydration pretreatment in drying of fruits and vegetables. *Drying Technology*, 21 (6): 1101-1114. <https://doi.org/10.1081/DRT-120021877>
- [8] O. Yaldyz, C. Ertekyn. (2001). Thin layer solar drying of some vegetables. *Drying Technology*, 19, (3-4): 583-597. <https://doi.org/10.1081/DRT-100103936>

- [9] A.O. Omolola, A.I. Jideani, P.F. Kapila. (2017). Quality properties of fruits as affected by drying operation. *Critical Review of Food Science and Nutrition*, 57 (1): 95-108. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.859563>
- [10] S.C. Correa, M.T. Clerici, J.S. García, E.B. Ferreira, M.N. Eberlin, and L. Azevedo. (2011). Evaluation of dehydrated marolo (*Annona crassiflora*) flour and carpels by freeze drying and convective hot air drying. *Food Research International* 44 (7): 2385-2390. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.052>
- [11] Ong, S.P. and CL Law. 2010. Hygrothermal properties of various foods, vegetables and fruits. *In*: Jangam, S.V., Law, C.L. and Mujumdar, A.S. (ed). Drying of foods, vegetables and fruits- Volume 1, Ed., 2010, ISBN-978-981-08-6759-1, Published in Singapore pp: 31-58.
- [12] Hii, C, and Law, C. (2010). Product quality evolution during drying of foods, vegetables and fruits. *Drying of Foods, Vegetables and Fruits*, 125-144.

Aislamiento de fracciones proteicas de hojas de chaya (*Cnidoscolus chayamansa*) asistida por sonicación

J.A. Marín Quiroz¹, M.L. Sánchez Mundo^{1*}, F.J. Gabino Roman², E. Hernández Domínguez², E. Flores Huicochea³

¹Tecnológico Nacional de México Campus Las Choapas. Carretera Las Choapas-Cerro de Nanchital km 6.0. Col. J. Mario Rosado. Las Choapas, Veracruz. C.P. 96980. México.

²Unidad de Investigación en Biotecnología Vegetal, TecNM Campus Acayucan. Carretera Costera del Golfo km 216.4. Col Agrícola Michapa. Acayucan, Veracruz. C.P. 96100. México.

³Instituto Politécnico Nacional. Ctra. Yautepec-Jojutla, Km.6, calle CEPROBI No. 8, Col. San Isidro, Yautepec, Morelos. México C.P. 62731.

*sanchez_mundo@hotmail.com

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

La hoja de chaya (*Cnidoscolus chayamansa*) es apreciada por su valor nutricional y medicinal, destacando el alto contenido de proteína, fibra, minerales y vitamina C. El objetivo del trabajo fue evaluar el contenido de proteína, perfil electroforético y capacidad antioxidante de las hojas de chaya empleando dos métodos de extracción. El contenido de proteínas se cuantificó por el método de Lowry con modificaciones. El perfil electroforético se realizó mediante la técnica SDS-PAGE y la capacidad antioxidante por el método de ABTS•+. El mayor contenido de proteínas se encontró en el extracto crudo extraído por agitación con una concentración de 9.6814 ± 0.1195^a mg/mL. El perfil electroforético mostró un mayor número de bandas en la fracción del 60% por sonicación de 105, 40.8, 30.5, 23.4 y 17.7 kDa. La mayor capacidad antioxidante lo presentó la fracción al 60% de saturación por agitación con 494.93 µgET por el radical ABTS•+.

Palabras clave: chaya, SDS-PAGE, proteína, ABTS•+

Abstract

The chaya leaf (*Cnidoscolus chayamansa*) is appreciated for its nutritional and medicinal value, highlighting the high content of protein, fiber, minerals and vitamin C. The objective of the work was to evaluate the protein content, electrophoretic profile and antioxidant activity of the leaves of chaya using two extraction methods. Protein content was quantified by the Lowry method with modifications. The electrophoretic profile was performed using the SDS-PAGE technique and the antioxidant capacity using the ABTS•+ method. The highest protein content was found in the crude extract extracted by shaking with a concentration of 9.6814 ± 0.1195 mg/mL. The electrophoretic profile showed a greater number of bands in the 60% fraction by sonication of 105, 40.8, 30.5, 23.4 and 17.7 kDa. The highest antioxidant activity was presented by the fraction at 60% saturation by agitation with 494.93 µg Trolox for the ABTS•+ radical.

Key words: chaya, SDS-PAGE, protein, ABTS•+

Introducción

A nivel mundial los consumidores han generado nuevas tendencias de consumo, una de ellas, la sustitución de proteína animal por vegetal. Se ha sugerido el uso de hojas verdes para concentrados de proteína de hoja (CPH), no solo porque esta proteína es una de las más abundantes en la tierra, sino también por su alto valor biológico [1]. La FAO reporta que el suministro de proteínas alimentarias es escaso, y esta situación empeorará si la

población mundial continúa creciendo [2]. Debido a lo anterior, las investigaciones se han enfocado en fuentes alternativas de proteínas que pueden suministrar cantidades suficientes de aminoácidos esenciales.

Algunas especies de *Cnidoscopus* son de interés humano por su potencial nutrimental y medicinal [3,4], pero es la chaya la más importante al ser la única planta cuyas hojas son consumidas como verdura [5]. El género *Cnidoscopus* posee más de 40 especies diferentes. La parte más aprovechada de la chaya son sus hojas [4], debido a su valor nutrimental alto y sus usos medicinales potenciales, destacando el alto contenido de proteína, fibra, minerales como calcio y potasio, y vitamina C. Además, Valenzuela, et al. [6], plantearon que la chaya posee sustancias químicas biológicamente activas que reducen el nivel de azúcares en sangre y posee capacidad antioxidante, por su riqueza en grupos fenólicos. En ella se encontraron cantidades apreciables de taninos y saponinas [7], por lo que hace una propuesta alternativa como fuente potencial de proteínas y compuestos bioactivos.

Las proteínas vegetales están disponibles en harinas desengrasadas, concentrados y aislados. Los aislados proteicos se pueden obtener mediante diferentes metodologías: extracción con solubilización alcalina y precipitación isoeléctrica, extracción ácida, extracción con agua, micelización y ultrafiltración [8]. Además de los productos de proteínas enteras, como concentrados y aislados, también existe un interés significativo en el uso de fracciones de proteínas de semillas como ingredientes funcionales para la formulación de alimentos. En hoja de chaya existe escasa información sobre las propiedades antioxidantes de las fracciones proteicas, incluyendo aislados, albúminas y globulinas. Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue extraer las proteínas de chaya aplicando sonicación y agitación como tratamientos preliminares a una precipitación fraccionada, así como evaluar su perfil electroforético y capacidad antioxidante.

Metodología

Materiales y acondicionamiento

Las hojas de chaya (*Cnidoscopus chayamansa*) se recolectaron en el municipio de Cosoleacaque, Veracruz, México. Los reactivos utilizados en este proyecto fueron de las marcas Bio-Rad (Hercules, California, USA), Sigma – Aldrich, (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA), J. T. Baker (Phillipsburg, NJ, USA); Merck (Darmstadt, Germany).

Se seleccionaron manualmente las hojas de chaya libre de daño, se procedió al lavado y desinfección con agua y jabón para eliminar cuerpos extraños presentes en el material vegetal. Posteriormente se utilizó un horno de secado (Novatech HS60-AIA, México) para secar las muestras por un periodo de 24 h a 40 °C. Seguidamente se procedió a la pulverización, usando un molino de cuchilla (T-fal, Mod.GT2035MX, China). Se obtuvo un polvo grueso que fue tamizado en malla 60 y almacenado a 4 °C, para su posterior uso.

Extracción y fraccionamiento de las proteínas

El polvo de chaya se sometió a un proceso de extracción sólido-líquido, se utilizó hexano en contacto directo con la harina y una parrilla de agitación (Science Me, Mod. H550-PRO, Finlandia) para proporcionar agitación durante 2 h, para posteriormente eliminar el solvente. El polvo de chaya sometido al proceso de extracción se usó para la extracción de las fracciones proteicas por los métodos de sonicación y agitación.

El polvo se mezcló en una relación 1:10 (sólido (g) /líquido (mL)). El disolvente de extracción se conformó de una mezcla de buffer de fosfatos 10 mM y 1% de Polivinilpirrolidona (PVP). La mezcla resultante se sometió a sonicación en un baño ultrasónico (Bradson, Civeq, Mod.8892), en dos periodos de 15 min a 4 °C. Para la extracción por agitación se utilizó la misma cantidad de muestra y de reactivos como en el proceso anterior, la mezcla resultante se sometió a una agitación con un tiempo de 2 h a 4 °C. Los extractos se mantuvieron en oscuridad, para evitar posibles daños, inducidos por la luz en el extracto. Posteriormente, los extractos se centrifugaron a 4000 rpm durante 30 min para ambos casos [9].

Precipitación fraccionada con sulfato de amonio

Los extractos de chaya obtenidos por sonicación y agitación se precipitaron con sulfato de amonio ((NH₄)₂ SO₄), en el rango de 0 a 40% de saturación en agitación (Science Me, Mod. H550-PRO, Finlandia) a 4 °C con la ayuda de un baño de hielo. Posteriormente se centrifugó (crmGlobe®, Centrificient II, México) la muestra a 4000 rpm durante 15 min, se retiró el sobrenadante y los pellets obtenidos de la precipitación fueron resuspendidos en 1

mL de Buffer de Fosfatos 10 mM. El sobrenadante del 40% de saturación se precipitó nuevamente hasta el 60% de saturación (40-60%) repitiendo el proceso anterior [9].

Diálisis y ultrafiltración

Los precipitados obtenidos al 40% y 60% de saturación por los dos métodos, fueron dializados en membranas de celulosa Spectra/Por 6 de 10,000 MWCO contra buffer de Fosfatos (pH 7.0) 10 mM en agitación (Science Me, Mod. H550-PRO, Finlandia) a 4 °C durante 24 h.

Las fracciones se concentraron por ultrafiltración, utilizando una celda de Amicon stirred cell 50 ml UFSCO5001 Millipore Corporation con una membrana de tamaño de 10 KDa (Amicon © Millipore) dializada contra el mismo volumen de buffer de Fosfatos (pH 7.0) 10 mM hasta alcanzar el equilibrio Gallo et al., [10] a una presión de 15 psi, a fin de separar las proteínas de menor peso molecular. La solución se mantuvo en agitación constante a 4 °C.

Cuantificación de proteína (Lowry modificado)

Se determinó el contenido de proteína de las diferentes fracciones obtenidas por el método de Folin-Lowry modificado por Markwell et al. [11], añadiendo 100 µL de extracto de chaya con 200 µL de agua destilada. Posteriormente, se añadieron, 1 mL de reactivo A (Na₂CO₃ al 2% NaOH al 0.4% SDS al 1%, tartrato de sodio y potasio al 0.16%) más el reactivo B (CuSO₄.5 H₂O al 4%) en una relación (100:1), se incubó durante 15 min a temperatura ambiente. Posteriormente se añadieron 100 µL del reactivo Folin-Ciocalteu diluido en una relación 1:1. La mezcla fue agitada en vórtex e incubada a temperatura ambiente durante 45 min. Las muestras se leyeron a una longitud de onda de 660 nm en un espectrofotómetro (VELAB®, Mod. VE-5600UV, México).

Cuantificación de proteína (Bradford)

Se determinó el contenido de proteína en las diferentes fracciones por triplicado mediante el método de Bradford (1976). A 50 µL de muestra se le adicionaron 950 µL de reactivo de Bradford, se agitó y se midió su absorbancia a 590 nm, utilizando un blanco de agua. Se realizó una curva de calibración utilizando albúmina serica bovina (ASB) como estándar Bradford [12].

Electroforesis SDS-PAGE

Se realizó una electroforesis (SDS-PAGE) a partir de los extractos proteicos obtenidos de acuerdo con Laemmli [13]. Se empleó un gel con concentración de acrilamida al 11% como separador y 5% como concentrador. Se inyectaron 3 µL del Marcador (Biorad, Catalog #161-0374) y 30 µL de cada una de las muestras de las fracciones proteicas. Posteriormente se corrió el gel en la cámara de Electroforesis de la Marca Sigma a 120 V constantes durante 2 h. Los geles se tiñeron con azul brillante de Coomassie G-250 (C₄₇H₄₉N₃NaO₇S₂), el desteñido se realizó con etanol al 50% y se continuó con el lavado con una solución de etanol/ácido; acético/agua en una relación 3:7; 6:3 (V/V). La estimación del peso molecular de las bandas fue cuantificada mediante el software GelAnalyzer 19.1 (stvan Lazar Jr., PhD).

Capacidad antioxidante

Se realizó un ensayo de ABTS•+ basado en el reporte de Pellegrini et al., [14] con modificaciones. Se preparó una solución de ABTS•+ 7 mM y una solución de Persulfato de Potasio (K₂S₂O₈) 2.45 mM. Posteriormente se hizo una mezcla con una relación 1:1 de estas soluciones y se dejó incubar de 12 a 16 h en ausencia de luz a temperatura ambiente; transcurrido este tiempo, la mezcla fue leída a 734 nm hasta obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.02. Posteriormente, se tomaron 200 µL de las fracciones y se agregaron 2.8 mL de la mezcla de ABTS•+ y Persulfato de Potasio (K₂S₂O₈) ajustada. Finalmente, se monitoreo el cambio en la absorbancia respecto a la referencia del reactivo cada min a 734 nm durante 30 min hasta tener un mínimo de tres lecturas constantes. Los resultados se expresaron como microgramos de equivalente Trolox (µgET) mediante la construcción de una curva patrón usando como antioxidante TROLOX®.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANDEVA) de un solo factor para la comparación múltiple de medias (Tukey, 0.05) y una significancia de ($P < 0.05$) de diferencia entre las muestras, utilizando el software estadístico MINITAB 16 (Minitab, Inc. 2010) [15].

Resultados y discusión

Cuantificación de proteínas

El contenido proteico de las fracciones analizadas bajo dos tipos de extracciones (sonicación y agitación) se muestran en la Tabla 1. Las fracciones fueron cuantificadas por las metodologías de Lowry y de Bradford. Los resultados indican que no hubo diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre los contenidos proteicos en los extractos crudos. Se obtuvo un intervalo de valores de la proteína en la fracción cruda de 6.76 a 9.68 mg/mL.

Esto concuerda con lo reportado por Keglevich [16], quienes propusieron al ultrasonido como un método con ventajas respecto a los protocolos convencionales de extracción, dado que acorta el tiempo del proceso, disminuye el volumen del solvente empleado, e incrementa el rendimiento extractivo. Este resultado se aproxima al 8.27 mg/mL obtenido por agitación en hojas de moringa (*Moringa oleifera Lam*) en extracto acuoso reportado por Pérez-Gómez [17].

En contraparte, las fracciones al 40% y al 60% por sonicación cuantificadas por Lowry, mostraron un descenso en el contenido proteico en sus extractos, a lo que se le puede atribuir que el tiempo y la potencia ultrasónica aplicada, fue un factor clave que afectó la el tamaño de las proteínas, se sabe que a mayor concentración de sulfato de amonio para precipitar proteínas el peso molecular disminuye, concentración de la fracción 40% por sonicación disminuyó más de la mitad en comparación con la concentración de la fracción 40% por agitación, también se observa que la concentración de la fracción del 60% por sonicación disminuyó solo un 34% respecto a la concentración de la fracción de 60% por agitación. Esta información indica que la sonicación disminuye el peso molecular de las proteínas solubles y en mayor grado las que presentan pesos moleculares grandes en comparación con los pesos moleculares pequeños, pero superiores a 10 kDa, debido a que este es el tamaño de corte empleado en la diálisis y por lo tanto son los que están presentes en la fracción 60% del tratamiento por agitación.

El efecto de disminución de tamaño de peso molecular no se presenta en los contenidos de proteína que se cuantificaron por el método de Bradford, esto se puede deber a que el método de Bradford cuantifica proteínas que contienen aminoácidos básicos (arginina, lisina e histidina) y podría ser que las proteínas que presentan un mayor contenido aminoácidos básicos poseen mayor resistencia al proceso de degradación y sufran menores cambios en su estructura debido a la sonicación [18, 19].

Tabla 1. Resultado del contenido de proteínas con empleo de agitación y sonicación.

	Agitación			Sonicación		
	Extracto Crudo	Fracción 40%	Fracción 60%	Extracto Crudo	Fracción 40%	Fracción 60%
Lowry (mg/mL)	8.92 ± 0.48 ^a	3.26 ± 1.00 ^c	7.40 ± 0.56 ^b	9.68 ± 0.11 ^a	1.14 ± 0.01 ^d	5.06 ± 0.01 ^d
Bradford (mg/mL)	6.76 ± 0.07 ^a	5.60 ± 0.07 ^b	5.32 ± 0.07 ^c	6.65 ± 0.08 ^a	5.19 ± 0.15 ^c	5.06 ± 0.13 ^c

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Los datos expresan valores promedio ± la desviación estándar ($n=3$) repeticiones y medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Electroforesis SDS-PAGE

Los perfiles electroforéticos de las fracciones de hoja de chaya (*Cnidoscolous chayamansa*) extraídas por agitación y sonicación, se muestran en la figura 1. La hoja de chaya, así como todas las hojas verdes, están constituidas principalmente por dos tipos de fracciones proteicas, las proteínas complejadas con pigmentos presentes dentro de la membrana tilacoide y las proteínas solubles. Esta proteína soluble es una enzima conocida como RuBisCO (Ribulosa 1,5-Bisfosfato Carboxilasa/Oxigenasa) Baigts et al [20]. La fracción al 40 % de saturación extraída con agitación previa (carril 1), mostró un patrón electroforético constituido por una banda con un peso molecular de 36.7 kDa. La fracción al 60% (carril 2) empleando la misma metodología, mostró un patrón electroforético constituido por 3 bandas con pesos moleculares de 39.2, 28 y 21.6 kDa respectivamente, lo que indica dos tipos de proteínas diferentes obtenidas en cada extracción.

Con respecto al ultrasonido aplicado previo a la precipitación salina, el tercer carril con la fracción salina al 40% (carril 3) muestra un patrón similar al carril 1 mostrando la presencia de una banda con un peso molecular aproximado de 42.1 kDa. La fracción al 60% (carril 4) con la misma metodología de sonicación presentó el mayor número de bandas con pesos moleculares de 105, 40.8, 30.5, 23.4 y 17.7 kDa, lo anterior muestra que con la aplicación de sonicación es posible extraer un mayor número de bandas proteínas respecto a la aplicación de agitación previo al fraccionamiento con sulfato de amonio ((NH₄)₂ SO₄). Baigts et al [20] detectó bandas de subunidades (pequeñas y grandes) de la proteína soluble (RuBisCO) a pesos moleculares de 50 kDa y 10 kDa en hojas de chaya (*Cnidoscolous chayamansa*). En aislados de proteína de soya, con el tratamiento de ultrasonido no se encontraron cambios en el patrón de bandas con respecto al control, probando que no hubo degradación o agregación, ni cambios en la estructura primaria [21], similar a lo reportado en canola [22].

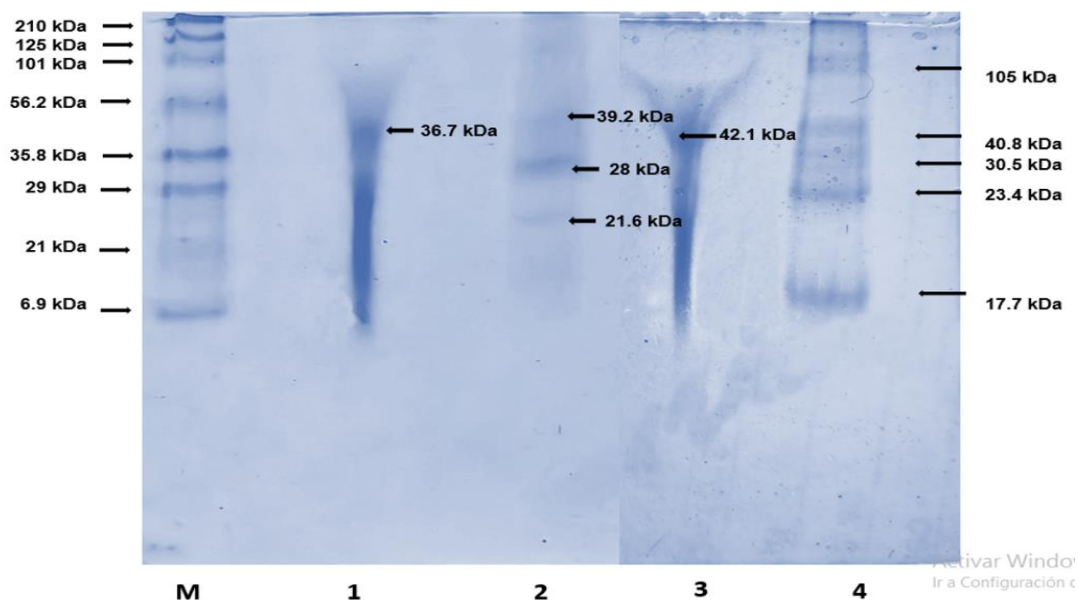


Figura 1. Análisis SDS-PAGE de fracciones proteicas obtenidas. Donde M: Marcador de peso molecular (BIO-RAD); 1: fracción 40% obtenida por precipitación con (NH₄)₂SO₄ con agitación; 2: fracción 60% por precipitación con (NH₄)₂SO₄ con agitación; 3: fracción 40% por precipitación con (NH₄)₂SO₄ con sonicación y 4: fracción 60% obtenida por precipitación con (NH₄)₂SO₄ con sonicación.

Capacidad antioxidante

Los valores de la capacidad antioxidante de las fracciones proteicas analizadas empleando ABTS•+ se muestran en la tabla 2. Los resultados mostraron que las fracciones extraídas por agitación presentaron mayor capacidad antioxidante con respecto a las fracciones extraídas por el método de sonicación. La fracción al 40% de saturación por agitación, mostró una capacidad antioxidante de 130.3797 μgET por el radical ABTS•+, siendo ampliamente mayor que $49.85 \pm 5.3 \mu\text{gET}$ de capacidad antioxidante del extracto de acetona de hoja de chaya reportado por Segura et al. [23]. La fracción al 40% por sonicación mostró un valor menor a lo obtenido en la fracción al 40 % con agitación. Diversos autores han reportado que el uso de pulsos ultrasónicos genera incrementos en la capacidad antioxidante [24]. Sin embargo, debido al tiempo de aplicación de los pulsos ultrasónicos aplicados en la metodología, pudo afectar en gran medida la capacidad de donación de electrones, ya que hay una evidente reducción del porcentaje de inhibición de ABTS•+ en la fracción.

La capacidad antioxidante de la fracción al 60% de saturación por agitación, es superior a la fracción extraída por el método de sonicación, con un valor de 494.93 μgET por el radical ABTS•+ siendo un valor más alto que los 398.713 μgET de capacidad antioxidante en hoja de moringa en fresco mediante el método ABTS•+ reportado por Caballero [25], y siendo aún mayor a la fracción del 60 % con 121,6179 μgET obtenida por la metodología comparada. La extracción con ultrasonidos debería generar rendimientos más altos en tiempos más cortos. En contraposición, los resultados obtenidos en este estudio todos los extractos extraídos mostraron menor capacidad antioxidante, a este bajo contenido obtenido se le puede atribuir a la ralentización del proceso total y sus posibles interacciones con otros componentes susceptibles de sufrir deterioro a prolongados minutos de exposiciones de ultrasonidos

Tabla 2. Valores de capacidad antioxidante de fracciones proteicas por el método ABTS•+

Fracción	ABTS ($\mu\text{g ET}$)	
	Sonicación	Agitación
40%	41.76 ± 0.93^d	130.37 ± 0.04^b
60%	121.61 ± 0.07^c	494.93 ± 2.59^a

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Los datos expresan valores promedio \pm la desviación estándar ($n=3$) repeticiones y medias que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Trabajo a futuro

Se propone realizar pruebas con menor tiempo de tratamiento de ultrasonido para hacer más eficiente el proceso de extracción. Así mismo, continuar con los estudios de pruebas funcionales de las proteínas aisladas, tales como solubilidad, formación de espuma, actividad de emulsificante, absorción de agua, retención de aceites, etc... para generar información para su posible aplicación como ingredientes funcionales en diferentes matrices alimentarias.

Conclusiones

El tratamiento de sonicación de 30 min previos a la precipitación fraccionada de proteínas no mostró diferencias estadísticas significativas en el contenido de proteínas detectado por ambos métodos de cuantificación, sin embargo, presenta la ventaja de un menor tiempo en el proceso de extracción, por lo que se sugiere el uso de tiempos menores de aplicación de la sonicación para mejores resultados. Por otra parte, el patrón electroforético se ve afectado por el proceso de sonicación, mostrando un mayor número de bandas en el gel SDS-PAGE. La fracción proteica al 60% de saturación salina presentó la mayor actividad antioxidante con el tratamiento de agitación previo al aislamiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto 3985.22-PD "Efecto de la sonicación sobre el perfil proteico, actividad antioxidante y antihipertensiva de la hoja de chaya (*Cnidoscopus chayamansa*)" con clave 3985.22-PD de la Convocatoria 2022 Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación, para los Institutos Tecnológicos Federales, Descentralizados y Centros.

Referencias

- [1] K. Shevkani, N. Singh, Y. Chen, A. Kaur y L. Yu, "Pulse proteins: secondary structure, functionality and applications", *Journal of Food Science and Technology*, marzo de 2019. Accedido el 5 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03723-8>.
- [2] "FAOSTAT". Home | Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/es/> (accedido el 5 de agosto de 2022).
- [3] I. Sánchez-Hernández, Moisés, C. Barragan-Alvarez, O. R. Patricia Torres-Gonzalez, & E. Padilla-Camberos, Nutraceutical Potential of *Cnidoscopus aconitifolius*. *ARC Journal of Nutrition and Growth*, Vol3(2), 2455-2550. (2017). <https://doi.org/10.20431/2455-2550.0302005>.
- [4] L. F. W. G. Moura *et al.*, "Ethnobotanic, phytochemical uses and ethnopharmacological profile of genus *Cnidoscopus* spp. (Euphorbiaceae): A comprehensive overview", *Biomedicine & Pharmacotherapy*, vol. 109, pp. 1670–1679, enero de 2019. Accedido el 7 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.10.015>
- [5] R. Ebel, M. d. J. Méndez Aguilar, J. A. Castillo Cocom y S. Kissmann, "Genetic Diversity in Nutritious Leafy Green Vegetable—Chaya (*Cnidoscopus aconitifolius*)", *Genetic Diversity in Horticultural Plants*, vol. 22, pp. 61–189, 2019. Accedido el 6 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1007/978-3-319-96454-6_6
- [6] R. Valenzuela Soto *et al.*, "Cnidoscopus chayamansa hidropónica orgánica y su capacidad hipoglucemiante, calidad nutraceutica y toxicidad", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 6, n.º 4, p. 815, diciembre de 2017. Accedido el 5 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i4.621>
- [7] J. C. Mordi, M. A. Akanji, A. E. Ojeh y U. E. Uzuegbu, "Antioxidant Principle of the Dry Aqueous Leaf Extracts of *Cnidoscopus aconitifolius* on Ethanol induced Biochemical Changes in the Plasma and Brain Tissue of Rabbits", *Biosciences Biotechnology Research Asia*, vol. 10, n.º 1, pp. 133–139, junio de 2013. Accedido el 5 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.13005/bbra/1104>
- [8] Y. E. Vallejos Ibarra, "Obtención de concentrados proteicos de la harina de arveja (*Pisum sativum*) y determinación de su actividad antioxidante por el método del ácido tiobarbitúrico (TBA)", tesis licenciatura, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato, 2018. Accedido el 6 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27136>
- [9] M. L. Sánchez-Mundo, C. Bautista-Muñoz y M. E. Jaramillo-Flores, "Characterization of protease activities in a crude extract of germinated cacao", *CyTA - Journal of Food*, pp. 1–10, marzo de 2015. Accedido el 7 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1023359>
- [10] G. Gallo, M. D. Angelis, P. L. H. McSweeney, M. R. Corbo y M. Gobbetti, "Partial purification and characterization of an X-prolyl dipeptidyl aminopeptidase from *Lactobacillus sanfranciscensis* CB1", *Food Chemistry*, vol. 91, n.º 3, pp. 535–544, julio de 2005. Accedido el 7 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.047>
- [11] M. Markwell, S. Haas, L. Biebar, and N. Tolbert, "A modification of the Lowry procedure to simplify protein determination in membranes and in protein samples," *Analytical Biochemistry*, vol. 87, no. 1, pp. 206–211, 1978.
- [12] M. M. Bradford, "A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding", *Analytical Biochemistry*, vol. 72, n.º 1-2, pp. 248–254, mayo de 1976. Accedido el 7 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3).
- [13] U.K. Laemmli, "Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4", *Nature*, vol. 227, pp. 680-685, 1970.
- [14] R. Re, N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang y C. Rice-Evans, "Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay", *Free Radical Biology and Medicine*, vol. 26, n.º 9-10, pp. 1231–1237, mayo de 1999. Accedido el 5 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
- [15] Minitab Inc, 2010. Minitab 16 Statistical Software. Minitab Inc., State College, PA, retrieved from <http://www.minitab.com>

- [16] G. Keglevich, "Natural Product Extraction; Principles and Applications", *Current Green Chemistry*, vol. 1, n.º 1, p. 86, diciembre de 2013. Accedido el 5 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.2174/221334610101131218100515>
- [17] R. Valenzuela Soto, M. E. Morales Rubio, M. J. Verde Star, A. Oranday Cárdenas y J. R. Esparza-Rivera, "Cnidoscopus chayamansa hidropónica orgánica y su capacidad hipoglucemiante, calidad nutraceutica y toxicidad", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 6, n.º 4, pp. 815–825, 2015.
- [18] S. Lv, A. Taha, H. Hu, Q. Lu y S. Pan, "Effects of Ultrasonic-Assisted Extraction on the Physicochemical Properties of Different Walnut Proteins", *Molecules*, vol. 24, n.º 23, p. 4260, noviembre de 2019. Accedido el 5 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/molecules24234260>
- [19] M. Ranjha, S. Irfan, J.M. Lorenzo, B. Shafique, R. Kanwal, M. Pateiro, R.N. Arshad, L. Wang, G.A. Nayik, U. Roobab and R Aadil, "Sonication, a Potential Technique for Extraction of Phytoconstituents: A Systematic Review," *Procesos*, vol. 9, no. 8, pp. 1406, 2021. <https://doi.org/10.3390/pr9081406>
- [20] E. Basch *et al.*, "Alfalfa (*Medicago sativa* L.)", *Journal Of Herbal Pharmacotherapy*, vol. 3, n.º 2, pp. 69–90, marzo de 2003. Accedido el 30 de julio de 2022. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1300/j157v03n02_09.
- [21] P. Silventoinen y N. Sozer, "Impact of Ultrasound Treatment and pH-Shifting on Physicochemical Properties of Protein-Enriched Barley Fraction and Barley Protein Isolate", *Foods*, vol. 9, n.º 8, p. 1055, agosto de 2020. Accedido el 5 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/foods9081055>
- [22] N.T. Flores-Jiménez, J.A. Ulloa, J. E.U. Silvas, J.C.R. Ramírez, P.R. Ulloa, P.U.B. Rosales, Y.S. Carrillo and R.G. Leyva, "Effect of high-intensity ultrasound on the compositional, physicochemical, biochemical, functional and structural properties of canola (*Brassica napus* L.) protein isolate", *Food Research International*, 121, pp. 947–956, 2019.
- [23] M. R. Segura-Campos, U. Us Medina, M. d. C. Millán Linares y V. Arana Argáez, "In vitro antioxidant and anti-inflammatory activity of chaya extracts (*Cnidoscopus aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnston)", *Nutrición Hospitalaria*, 2019. Accedido el 26 de julio de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.20960/nh.02752>
- [24] R.-j. Shi *et al.*, "Research on the physicochemical and digestive properties of *Pleurotus eryngii* protein", *International Journal of Food Properties*, vol. 21, n.º 1, pp. 2785–2806, enero de 2018. Accedido el 7 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1560309>
- [25] J. D. Caballero Sopán J, Efecto del secado sobre los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en la hoja de moringa (*Moringa oleífera*), Escuela profesional de ingeniería agroindustrial, nuevo chimbote, 2021. Accedido el 5 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3900>.

OBTENCIÓN DE BACTERIAS PETROFÍLICAS DE VIDA LIBRE PRODUCTORAS DE BIOTENSOACTIVOS PROVENIENTES DE RIZÓSFERA DE MAÍZ

Laura Cristina Martínez-Martínez¹, Marcia Eugenia Ojeda-Morales², Miguel Ángel Hernández-Rivera³, José de los Santos López-Lázaro⁴ y Pío Sifuentes Gallardo⁵.

División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco,
Km. 1, Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, C.P. 86690, Cunduacán, Tabasco, México.

¹laurammartinez99@gmail.com

²marcia.ojeda@ujat.mx

³miguel.hernandezr@ujat.mx

⁴jose.lazaro@ujat.mx

⁵pjo.sifuentes@ujat.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

La contaminación por petróleo es un problema de interés en el estado de Tabasco, México, siendo los suelos agrícolas los principales afectados. El presente estudio tiene como objetivo el análisis de un suelo rizosférico de *Zea mays* (maíz) proveniente del estado de Tabasco, con la finalidad de obtener bacterias petrofílicas capaces de fijar nitrógeno y solubilizar fósforo. Así mismo, identificar el microorganismo más idóneo para la producción de un biosurfactante que pueda usarse en procesos de biorremediación. El uso de medios de cultivos selectivo y semiselectivos permitió la obtención de 2 cepas con las características planteadas, identificadas como *Ochrobactrum anthropi* y *Serratia liquefaciens*. *S. liquefaciens* mostró mejor emulsificación de petróleo, por lo tanto, podría tener una mejor capacidad de producción de biosurfactantes.

Palabras clave: Bacterias, rizósfera, biorremediación, biosurfactantes.

Abstract

Oil contamination has become a topic of interest in the state of Tabasco, Mexico, being the agricultural soils the most affected by it. This manuscript aims to analyze a rhizospheric soil of *Zea mays* from the state of Tabasco, to obtain petrophilic bacteria capable of fixing nitrogen and solubilizing phosphorus. Likewise, identifying the most suitable microorganism to produce biosurfactants. The use of selective and semi-selective culture media allowed the isolation of 2 different bacterial strains with the stated characteristics; these were *Ochrobactrum anthropi* and *Serratia liquefaciens*. *S. liquefaciens* showed the best oil emulsification characteristics, thus, it could have a better biosurfactant production capacity.

Key words: Bacteria, rhizosphere, bioremediation, biosurfactants.

Introducción

Tabasco, un estado ubicado en el sureste de México, basa el 54.1% de su modelo de desarrollo económico en la extracción petrolera, lo que representa el 90.4% de las exportaciones de la región [1]. Aunque esta actividad es una de las principales fuentes de ingreso para el estado, la exploración y refinación; el robo de combustible; la falta de mantenimiento a los ductos; el transporte y el almacenamiento de los hidrocarburos han hecho de Tabasco una zona propensa a sufrir emergencias ambientales, de forma que hasta el año 2014 ocupó el primer lugar nacional en derrames de hidrocarburos de tipo Petróleo Crudo [2] causando daños importantes en el medio ambiente. Estas emergencias ambientales, conocidas como contaminación puntual del suelo, son catalogadas como la novena amenaza más importante a las funciones del suelo en América Latina, por lo que es necesario implementar estrategias sustentables y eficientes para remover los contaminantes de las zonas afectadas [3], [4].

La producción agrícola también es una actividad importante en el estado, ocupando el puesto número 22 de volumen de producción agrícola nacional. Aunque el maíz no figura entre los principales cultivos de la región, es de gran importancia cultural en la zona y es usado principalmente para el autoconsumo y la demanda local, de

modo que en el año 2020 se sembraron 617 hectáreas y se cultivaron 149,737.65 toneladas de este cereal [5], [6].

Los impactos ambientales han sido reportados principalmente en zonas rurales, afectando en mayor medida a las poblaciones dedicadas a la agricultura, dañando los cultivos y ocasionando pérdidas [7]. Las consecuencias generadas por los hidrocarburos del petróleo dependen de sus características químicas y físicas, sin embargo, en los suelos agrícolas se han observado afectaciones en la fertilidad, en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; también hay impacto fitotóxico en la germinación de las semillas, su crecimiento y en el rendimiento del cultivo. En cuanto a las afectaciones biológicas del suelo, se ve principalmente perjudicado el microbioma y las actividades enzimáticas, lo que repercute indirectamente en la disponibilidad de nutrientes para las plantas [4].

Existen diferentes tecnologías para lograr la remediación de estos sitios, entre los cuales se encuentran los métodos biológicos. La biorremediación es una tecnología que utiliza organismos vivos para el tratamiento de sitios contaminados con elementos tóxicos, buscando reestablecer sus condiciones originales [8]. Dependiendo de la estrategia elegida, se puede hacer uso de microorganismos, procesos microbianos, algas o algunos tipos de plantas [9].

Algunas bacterias encontradas en suelos rizosféricos pueden estimular el desarrollo de las plantas produciendo fitohormonas, fijando nitrógeno atmosférico y solubilizando nutrientes (fosforo y potasio) [3]. Al mismo tiempo son capaces de estimular la degradación de petróleo, por lo que permiten el crecimiento vegetal aunque haya condiciones de contaminación [10]. Aunado a esto, existen microorganismos capaces de producir moléculas anfipáticas, conocidas como biotensoactivos o biosurfactantes, de forma extracelular o intracelular que pueden incrementar la dispersión y disponibilidad de los hidrocarburos, haciéndolos más accesibles para su biodegradación [11].

Aún no se han encontrado agentes capaces de realizar todas las funciones descritas [3], por lo que es importante seguir realizando investigaciones que permitan aislar e identificar microorganismos con estas características para poder atender los constantes derrames petroleros que afectan el estado de Tabasco.

Metodología

Las muestras utilizadas fueron tomadas de un sembradío de *Z. mays* (maíz) libre de contaminación por hidrocarburos. Las plantas de maíz y el suelo adherido se transportaron al Laboratorio de Biotecnología de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura perteneciente a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Estas muestras fueron procesadas dentro de las siguientes 24 horas.

Procesamiento de la muestra

El suelo excedente fue removido de las raíces de la planta de maíz; se cortaron y pesaron 10 g de raíz con suelo rizosférico adherido y se agregaron en un matraz erlenmeyer de 250 mL con 90 mL de agua destilada estéril, posteriormente se llevó a agitación y se dejó reposar por 30 minutos.

Aislamiento de bacterias de vida libre: fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo.

Se prepararon diluciones seriadas desde 10^{-1} a 10^{-5} : tomando 1 mL de la solución madre y añadiéndola a 9 mL de agua destilada estéril (10^{-1}), repitiendo el proceso hasta alcanzar la dilución 10^{-5} . El conteo de células viables se realizó tomando por separado una alícuota de 0.1 mL de las diluciones 10^{-4} y 10^{-5} , se vertió en una caja petri con agar nutritivo (DIBICO) y se extendió por la superficie usando un asa drigalski [12]. El mismo procedimiento fue realizado empleando el medio de cultivo semiselectivo rojo congo (ácido málico $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, K_2HPO_4 $0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ $0.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, extracto de levadura $0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ $0.015 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, KOH $4.8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, NaCl $0.1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, agar-agar $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ y rojo congo $15 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$) y el medio ashby (sacarosa $20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, CaCl_2 $0.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, KH_2PO_4 $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, MgSO_4 $0.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, FeSO_4 $0.005 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, NaCl $0.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ y agar-agar $15 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) para el aislamiento de bacterias de vida libre [13]. Después las placas fueron incubadas a 28°C durante 2 a 5 días.

Para comprobar que las bacterias expresadas en el medio rojo congo fueran capaces de solubilizar fósforo, fueron inoculadas en el medio ashby empleando la técnica de siembra por estriado. El mismo procedimiento se llevó a cabo con los microorganismos expresados en medio ashby para comprobar su capacidad de fijar nitrógeno, inoculándolos en rojo congo. Las placas se dejaron encubar a 28°C de 3 a 5 días.

Identificación de bacterias petrofilicas

En placas petri con medio bushnell haas, se agregó 0.1 mL de petróleo estéril como fuente de carbono, extendiéndose por toda la placa con la ayuda de un asa drigalski. Se procedió a inocular con los microorganismos expresados tanto en el medio rojo congo como en el medio ashby y se dejó incubar a 28°C durante 7 días [14].

Caracterización morfológica de las cepas aisladas

Se caracterizó la morfología externa de las colonias de las cepas identificadas de acuerdo con a la forma, elevación, borde y color presentada durante su crecimiento en medio nutritivo [15].

Tinción de Gram

De una caja petri previamente inoculada con la bacteria de interés, se tomó una muestra para realizar un frotis en un portaobjeto, fijándolo a la llama. Seguido de esto, se añadió una solución de cristal violeta y se esperó por 1 minuto, lavando con suficiente agua destilada una vez que pasó el tiempo determinado. Luego se agregó una solución yodo-yodurada de lugol y se dejó por 1 minuto, volviendo a lavar en cuanto terminó el minuto. Posteriormente se agregó alcohol etílico manteniendo por 20 segundos y se finalizó con la adición de una solución de safranina por 2 minutos, volviendo a lavar con agua al terminar [12]. Las tinciones fueron observadas en el microscopio con los objetivos 10X y 100x, añadiendo una gota de aceite de inmersión para el último objetivo.

Pruebas bioquímicas API20E®

Siguiendo el protocolo propuesto por el fabricante [16], se prepararon 5 mL de NaCl al 0.85%, posteriormente se añadió a un tubo de cultivo de 25 mL y con ayuda de un hisopo estéril se inóculo con cada una de las cepas bacterianas. Finalmente se tomaron 10 mL de la suspensión y se incorporaron en los pocillos de la galería API20E®. Las galerías fueron incubadas a 36°C por 18-24h. Después de obtener el perfil numérico de cada cepa se introdujo en el software de identificación apiweb™.

Evaluación de la mineralización de petróleo

Para cada unidad experimental se utilizó un matraz erlenmeyer de 500 mL y un tapón de goma con dos tubos de vidrio. Uno de los tubos sirvió como fuente de aireación impulsado por una bomba de aire, acoplado con un filtro, para evitar contaminación. El segundo tubo funcionó como salida de aire para liberar la presión [17]. Se designó un biorreactor para cada cepa identificada, de igual forma, se estableció otro biorreactor libre de microorganismos como control. El ensayo fue realizado por duplicado.

Las cepas bacterianas utilizadas para evaluar la mineralización del petróleo fueron las que mostraron una mejor expresión en el medio bushnell haas. Éstas fueron preservadas en cajas petri con agar nutritivo a 28°C por 48 horas.

El inóculo se preparó tomando biomasa de las cajas preservadas con ayuda de un asa de platino, luego se agregó en un tubo de ensayo con 5 mL de agua destilada estéril y se llevó a agitación. Posteriormente, en condiciones axénicas se vertieron los 5 mL en un matraz erlenmeyer con 200 mL de agua destilada estéril con el fertilizante triple 17, el cual fue previamente pulverizado y tamizado [18]. Cada unidad experimental se llevó a agitación hasta homogenizar.

Resultados y Discusión

La población total bacteriana presente en un suelo rizosférico de maíz libre de hidrocarburos de petróleo fue de $6 \times 10^6 \text{ UFC} \cdot \text{g}^{-1}$, en donde predominaron las bacterias fijadoras de nitrógeno sobre las solubilizadoras de fósforo, con $4.5 \times 10^6 \text{ UFC} \cdot \text{g}^{-1}$, y $2 \times 10^6 \text{ UFC} \cdot \text{g}^{-1}$ respectivamente (tabla 1, figura 1). La diversidad y actividad microbiana presente en la rizósfera son efectivos para procesos de biorremediación, por lo que se logró el aislamiento de 10 cepas bacterianas, de las cuales solamente 2, denominadas B1 y B6, cumplieron con las características planteadas: fijar nitrógeno, solubilizar fósforo, degradar petróleo y posible producción de biosurfactante (figuras 2, 3 y 5). En análisis previos, [19] obtuvo 17 bacterias degradadoras de petróleo proveniente de un suelo no contaminado, observando que los porcentajes de degradación de las bacterias provenientes de suelos contaminados fueron similares a las obtenidas de suelos sin contaminación, demostrando que existen microorganismos con estas capacidades incluso si no han sido expuestos a hidrocarburos anteriormente. Por otro lado, las bacterias de la rizósfera están expuestas a metabolitos secundarios liberados por las raíces de las

plantas que son análogos a algunos contaminantes orgánicos, lo que ayuda a incrementar en la comunidad microbiana mecanismos relevantes para la degradación de contaminantes incluso en los suelos no contaminados [10].

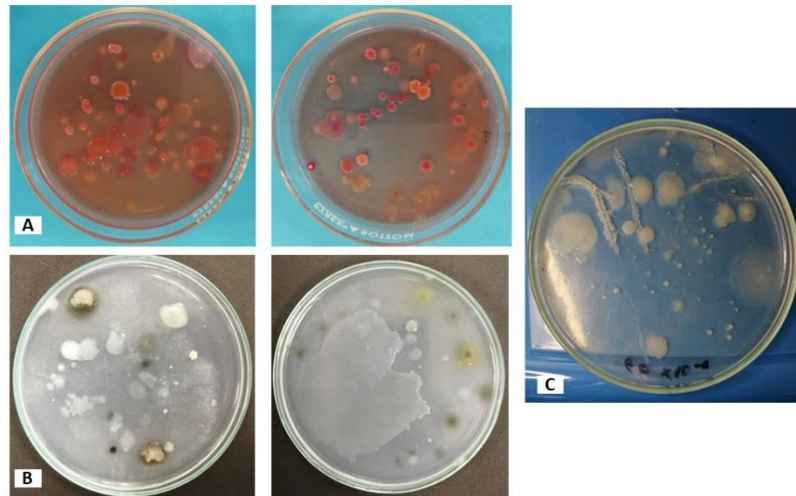


Figura 1. Microorganismos presentes en la muestra del suelo rizosférico. A) Unidades formadoras de colonias (UFC) expresadas en el medio semiselectivo rojo congo. Las UFC presentes tienen la capacidad de fijar nitrógeno. B) UFC expresadas en el medio de cultivo ashby, los microorganismos presentes tienen la capacidad de solubilizar fósforo. D) Células viables totales presentes en la muestra analizada.

Bacterias totales	Bacterias fijadoras de nitrógeno	Bacterias solubilizadoras de fósforo
$6 \times 10^6 \text{ UFC} \cdot \text{g}^{-1}$	$4.5 \times 10^6 \text{ UFC} \cdot \text{g}^{-1}$	$2 \times 10^6 \text{ UFC} \cdot \text{g}^{-1}$

Tabla 1. Conteo de UFC presentes en el suelo rizosférico de maíz.

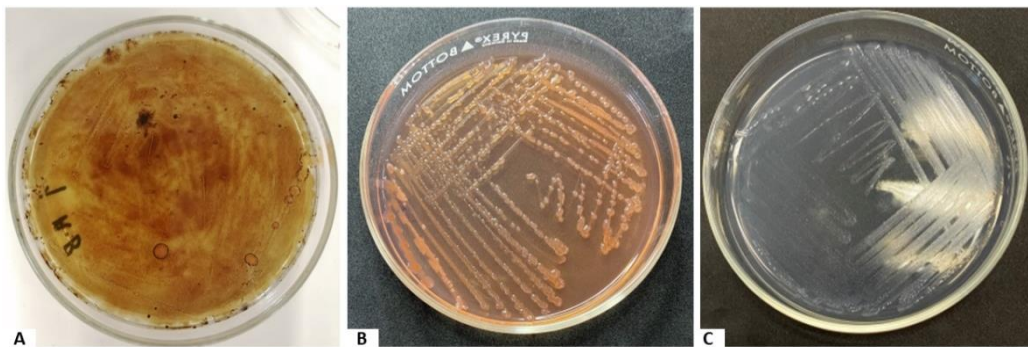


Figura 2. Cepa bacteriana denominada como B1. A) Expresión en medio bushnell Haas. B) Expresión en medio rojo congo. C) Expresión en medio ashby

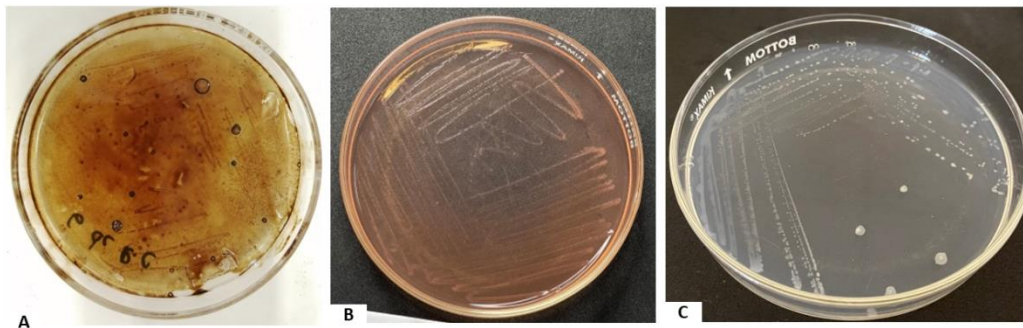


Figura 3. Cepa bacteriana denominada como B6. A) Expresión en medio bushnell haas. B) Expresión en medio rojo congo. C) Expresión en medio ashby

La morfología a nivel colonia de la bacteria denominada B1 es granular, plana, de borde ondulado, brillante y de color blanco. También mostró bacilos gramnegativos. Por otro lado, la bacteria B6 tuvo una morfología circular, de elevación convexa, borde entero, color blanco/brillante y presentó bacilos gramnegativos (tabla 2, figura 4). Las pruebas bioquímicas para B1 fueron positivas en la asimilación de citrato, la prueba Voges-Proskauer, asimilación de arabinosa y producción de citocromo oxidasa. B6 fue positiva en la detección de β -galactosidasa, producción de arginina dihidrolasa, producción de ornitina descarboxilasa, asimilación de citrato, la prueba Voges-Proskauer y la fermentación de diferentes azúcares (glucosa, manitol, inositol, sorbitol, sacarosa, melibiosa, amigdalina y arabinosa) (tabla 3). Estos resultados permitieron la identificación de la cepa B1 como *Ochrobactrum anthropi* y a B6 como *Serratia liquefaciens*, teniendo un porcentaje de identificación (% ID) de 53% y 84.7% respectivamente (tabla 4).

Los resultados obtenidos en las pruebas Voges-Proskauer y asimilación de arabinosa fueron diferentes a otros reportes obtenidos de *O. anthropi* [19]. El manual de usuario del sistema API E20 menciona que es recomendado para la identificación de enterobacterias, por lo que se debe tener en cuenta este margen de error ya que el microorganismo mencionado no forma parte de ellas. Es necesario mencionar que *O. anthropi* se ha descrito como un microorganismo de difícil identificación, en la cual las pruebas bioquímicas tienen ciertas limitaciones, siendo necesario recurrir a pruebas moleculares para su correcta clasificación [20].

Bacteria	Forma	Elevación	Borde	Superficie	Color
B1	Granular	Plana	Ondulado	Lisa/brillante	Blanca
B6	Circular	Convexa	Entero	Lisa/brillante	Blanca

Tabla 2. Caracterización morfológica de las UFC identificadas expresadas en medio nutritivo.

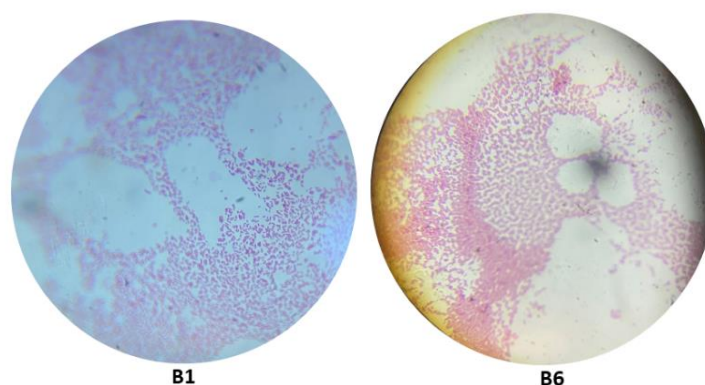


Figura 4. Tinción Gram realizada a las cepas analizadas. B1) Se observan bacilos gramnegativos. B4) Se observan bacilos gramnegativos. B6) Se observan bacilos gramnegativos.

Pruebas bioquímicas	Reacción/enzima	B1	B6
ONPG	Detección de β -galactosidasa	-	+
ADH	Producción de arginina dihidrolasa	-	+
LDC	Producción de lisina descarboxilasa	-	-
ODC	Producción de ornitina descarboxilasa	-	+
CIT	Asimilación de citrato	+	+
H_2S	Producción de sulfuro de hidrogeno	-	-
URE	Producción de ureasa	-	-
TDA	Detección de triptófano desaminase	-	-

IND	Producción de indol	-	-
VP	Voges-Proskauer	+	+
GEL	Producción de enzima gelatinasa	-	-
GLU	Fermentación de glucosa	-	+
MAN	Fermentación de manitol	-	+
INO	Fermentación de inositol	-	+
SOR	Fermentación de sorbitol	-	+
RHA	Fermentación de ramnosa	-	-
SAC	Fermentación de sacarosa	-	+
MEL	Fermentación de melibiosa	-	+
AMY	Fermentación de amigdalina	-	+
ARA	Asimilación de arabinosa	+	+
OX	Citocromo oxidasa	+	-

Tabla 3. Resultados obtenidos después de la inoculación de las cepas B1 y B6 en la galería API E20 V5.0

Cepa aislada de la rizósfera	Taxón significativo	% ID
B1	<i>Ochrobactrum anthropi</i>	53.0
B6	<i>Serratia liquefaciens</i>	84.7

Tabla 4. Taxones significativos obtenidos después de la interpretación de resultados de las galerías API E20 V5.0

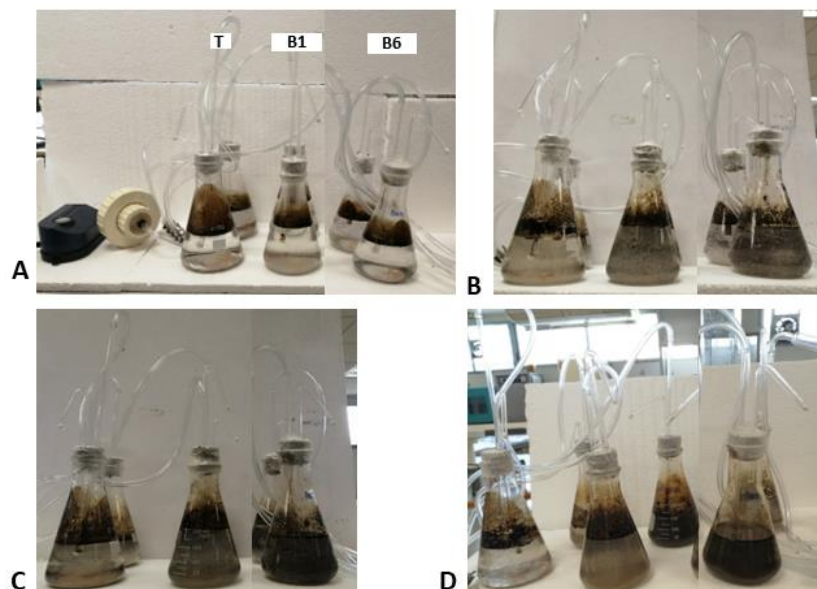


Figura 5. Biorreactores establecidos para evaluar cualitativamente la mineralización de petróleo usando como medio de cultivo líquido el fertilizante triple 17. A) Se observa el compresor y el filtro acoplado encargado de proporcionar aireación a cada uno de los biorreactores. Día 0 del ensayo. B) Día 2 del ensayo. C) Día 4 del ensayo. D) Día 6 del ensayo. En un orden de izquierda a derecha: T) biorreactor sin inculo; B1) biorreactor inoculado con la cepa B1 y B6) biorreactor inoculado con la cepa B6.

Entre las bacterias rizosféricas se encuentran las bacterias de vida libre promotoras del crecimiento vegetal, las cuales pueden convertir el nitrógeno en amonio y solubilizar el fósforo, permitiendo que los nutrientes estén disponibles para su aprovechamiento [10]. *Ochrobactrum anthropi* es un bacilo gramnegativo no fermentador encontrado en el ambiente que se ha logrado aislar de la rizósfera del manglar, de nódulos de frijol y de suelos no contaminados [21], [22], [23]. Esta especie ha demostrado estimular el crecimiento, promover la fijación de nitrógeno y la solubilización de fosfato inorgánico en el frijol y en la alcachofa de Jerusalén [23], [24]. De igual modo, el género *Serratia* se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y ha probado tener ambas características, siendo posible su localización en la rizósfera de diferentes plantas, tales como el raulí, tomate, trigo, etc. [25].

Se puede observar de forma cualitativa que la cepa aislada de *O. anthropi* en el presente trabajo tiene capacidad de mineralizar petróleo en medio triple 17 (figura 5), concordando con otros reportes que muestran la degradación de hasta 60% de hidrocarburos del petróleo [26]. Por otro lado, la mayoría de los ensayos relacionan a *S. liquefaciens* como participe en la degradación de hidrocarburos aromáticos policíclicos y pesticidas [27], por lo que podría ser de gran interés evaluar su capacidad de degradar otros hidrocarburos del petróleo.

El ensayo de mineralización de petróleo observado en la figura 5 muestra una menor degradación de petróleo por parte de *S. liquefaciens* comparado con *O. anthropi*, sin embargo, la emulsión mostrada por *S. liquefaciens* podría indicar una mayor capacidad para producir biosurfactantes [18]. Se han producido biosurfactantes usando ambos microorganismos [28], [29], por lo que sintetizarlo usando desechos de la región como fuente de carbono podría resultar beneficioso.

Trabajo a futuro

Será evaluada la cuantificación de la capacidad de degradación de hidrocarburos de petróleo de ambos microorganismos, de forma individual y en consorcio. Posteriormente se estudiará la capacidad de producción de biosurfactante de la cepa que muestre mayor degradación. Para completar los trabajos de caracterización, se realizará un análisis de Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM) para confirmar la morfología de las bacterias aisladas.

Conclusiones

A partir de un suelo rizosférico de un cultivo de maíz ubicado en el estado de Tabasco, se logró el aislamiento de dos cepas bacterianas autóctonas, identificadas como *Ochrobactrum anthropi* y *Serratia liquefaciens*. Ambos microorganismos cumplieron con las características planteadas: fijar nitrógeno, solubilizar fósforo, degradar petróleo y producir biosurfactantes. A pesar de esto, *S. liquefaciens* demostró mejor capacidad de emulsión del contaminante, lo cual podría estar relacionado con una mayor producción de biotensoactivo. Tanto *O. anthropi*, como *S. liquefaciens* podrían ser organismos potenciales para realizar futuros trabajos de biorremediación en el estado.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Biotecnología de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura, por permitir la realización de este proyecto. Así mismo, a los estudiantes y profesores que ayudaron durante todo el proceso.

Referencias

- [1] R. Loyola Díaz, L. Aceves Navarro, F. Juárez López y T. M. Téllez Serrano, «Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo sustentable,» *Sociedad y ambiente*, nº 20, pp. 125-151, 2019.
- [2] S. Ruíz Liévano, «La responsabilidad del daño ambiental por derrame de hidrocarburos en suelos en Tabasco, México,» *Revista Ciencias y Humanidades*, vol. 14, nº 14, pp. 135-160, 2022.

- [3] N. Rodríguez Eugenio, M. McLaughlin y D. Pennock, «La contaminación del suelo: una realidad oculta,» FAO, Roma, 2019.
- [4] T. G. Ambaye, A. Chebbi, F. Formicola, S. Prasad, F. H. Gomez, A. Franzetti y M. Vaccari, «Remediation of soil polluted with petroleum hydrocarbons and its reuse for agriculture: Recent progress, challenges, and perspectives,» *Chemosphere*, vol. 293, 2022.
- [5] SEDAFOP, «Campo Tabasco,» 2022. [En línea]. Available: <https://campotabasco.gob.mx/?agricola=maiz-grano>. [Último acceso: 2 Agosto 2022].
- [6] SIAP, «Anuario Estadístico de la Producción Agrícola,» Gobierno de México, 2022. [En línea]. Available: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. [Último acceso: 2 Junio 2022].
- [7] Y. Pérez Muñoz, S. López Martínez, A. R. Rodríguez Luna y S. A. Ramos Arcos, «Evaluación de impacto socioambiental, por derrame de petróleo,» *Journal of Basic Sciences*, vol. 5, nº 15, pp. 134-152, 2019.
- [8] L. d. J. Alves, F. C. Nunes, I. d. S. Santos, D. M. Loureiro, P. A. Casaes, E. Gross y M. N. Vara Prasad, «Chapter 10 - Microbial approach for alleviation of potentially toxic elements in agricultural soils,» de *Climate Change and Soil Interactions*, Elsevier, 2020, pp. 271-303.
- [9] N. Kumar Singh, S. Pandey, R. P. Singh, K. Muzamil Gani, M. Yadav , A. Thanki y T. Kumar, «Bioremediation of Pollutants From Genetic Engineering to Genome Engineering,» de *11 - Bioreactor and bioprocess technology for bioremediation of domestic and municipal wastewater*, Elsevier, 2020, pp. 251 - 273.
- [10] F. Alotaibi, M. Hijri y M. St-Arnaud, «Overview of Approaches to Improve Rhizoremediation of Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soils,» *Applied microbiology*, vol. 1, nº 2, pp. 329-351, 2021.
- [11] A. P. Karlapudi, T. Venkateswarulu, J. Tammineedi, L. Kanumuri, B. K. Ravuru, V. r. Dirisala y V. P. Kodali, «Role of biosurfactants in bioremediation of oil pollution-a review,» *Petroleum*, vol. 4, nº 3, pp. 241-249, 2018.
- [12] M. T. Madigan, K. S. Bender, J. Aiyer, D. H. Buckley, W. M. Sattley, D. Stahl y T. D. Brock, *Brock Biology Of Microorganisms*, Global Edition, Pearson, 2021.
- [13] M. E. Ojeda Morales, M. Dominguez-Dominguez, M. A. Hernández Rivera y J. Zavala-Cruz, «Biosurfactant Production by Strains of Azospirillum Isolated from Petroleum-Contaminated Sites,» *Water, Air & Soil Pollution*, vol. 12, nº 226, 2015.
- [14] L. C. Goveas, A. Krishna, A. Salian, J. Menezes, M. Alva, B. Basavapattan y S. P. Sajankila, «Isolation and Characterization of Bacteria from,» *Journal of Pure and Applied Microbiology*, nº 5964, pp. 473-484, 2020.
- [15] S. Kumar, *Textbook of Microbiology.*, Macmillan Publishers, 2012.
- [16] M. Nugroho, «Sistema Api 20 E,» *Chem. Inf. Model*, vol. 53, nº 9, pp. 168-169, 2013.
- [17] V. Córdova-Bautista. "Estudio de las propiedades fisicoquímicas de un suelo contaminado con petróleo durante el proceso de biorremediación", Tesis de Maestría, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, 2021
- [18] M. Hernández-Rivera, M. Ojeda-Morales, J. Martínez-Vázquez, V. Villegas-Cornelio y Y. Córdoba-Bautista, «Optimal Parameters for In Vitro Development of the Hydrocarbonoclastic Microorganism *Proteus sp.*,» *Journal of soil science and plant nutrition*, vol. 12, nº 1, pp. 29-43, 2011.

- [19] S. Gu, R. Hou, S. Gao, Z. Sun, X. Li, L. Zhai, Y. Jin, Q. Zhu, Y. Liao y K. Tian, «First Isolation and Characterization of *Ochrobactrum anthropi* from Pig,» *Engineering*, vol. 6, nº 1, pp. 49-55, 2020.
- [20] M. G. Aguilera-Arreola, M. L. Ostría-Hernández, E. Albarrán-Fernández, S. R. Juárez-Enriquez, C. Majalca-Martínez, B. Rico-Verdín, E. A. Ruiz, M. d. S. Ruiz-Palma, M. R. Morales-García y A. Contreras-Rodríguez, «Correct Identification of *Ochrobactrum anthropi* From Blood Culture Using 16rRNA Sequencing: A First Case Report in an Immunocompromised Patient in Mexico,» *Frontiers in Medicine*, vol. 5, nº 205, 2018.
- [21] A. Rinanti y J. Nainggolan, «Petroleum residues degradation in laboratory-scale by rhizosphere bacteria isolated from the mangrove ecosystem,» *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 106, 2018.
- [22] T. Ra, Y. Zhao y M. Zheng , «Comparative study on the petroleum crude oil degradation potential of microbes from petroleum-contaminated soil and non-contaminated soil,» *International Journal of Environmental Science and Technology*, nº 16, p. 7127–7136, 2019.
- [23] A. Imran, M. J. A. Saadalla, S.-U. Khan, M. S. Mirza, K. A. Malik y F. Y. Hafeez, «*Ochrobactrum* sp. Pv2Z2 exhibits multiple traits of plant growth promotion, biodegradation and N-acyl-homoserine-lactone quorum sensing,» *Annals of Microbiology*, vol. 64, pp. 1797-1806, 2014.
- [24] N. Pitiwittayakul y S. Tanasupawat, «Plant Growth-Promoting Endophytic Bacteria and Their Potential Benefits in Asian Countries,» de *Beneficial Microbes for Sustainable Agriculture and Environmental Management*, Apple Academic Press, 2020, pp. 81-114.
- [25] I. Chamkhi, N. E. Omari, T. Benali y A. Bouyahya, «Quorum Sensing and Plant-Bacteria Interaction: Role of Quorum Sensing in the Rhizobacterial Community,» de *Quorum Sensing: Microbial Rules of Life*, South Dakota, American Chemical Society, 2020, pp. 139-153.
- [26] V. E. Reyes-Solis. «Biorremediación de sedimentos contaminados por hidrocarburos empleando la bacteria *Ochrobactrum anthropi* a diferentes técnicas de estimulación», Trabajo de intervención para Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana Tuxpan Veracruz, 2021
- [27] V. Singh, S. Srivastava, N. Singh, S. Srivastava, A. Lehri y N. Singh, «Study on the characterization of endosulfan-degrading,» *Journal or Environmental Science and Health* , vol. 40, nº 1, pp. 68-85, 2022.
- [28] T. Clements, T. Ndlovu, S. Khan y W. Khan , «Biosurfactants produced by *Serratia* species: Classification, biosynthesis, production and application,» *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 103, pp. 509-602, 2019.
- [29] V. Tripathi, V. K. Gaur, N. Dhiman, K. Gautam y N. Manickam , «Characterization and properties of the biosurfactant produced by PAH-degrading bacteria isolated from contaminated oily sludge environment,» *Sustainable Industrial and Environmental Bioprocesses*, vol. 27, p. 27268–27278, 2019.

OBTENCIÓN POR MICROONDAS DEL ACIDO TEREFTALICO (TPA) PRESENTES EN BOTELLAS DE PET

Espíndola Apale Nancy¹, Ortiz Celiseo Araceli¹, Ríos Cortés Ada María², Rosas Morales Minerva², Ríos Cortés Gabriel^{1*}

¹Instituto Tecnológico de Orizaba, nancy.apale@hotmail.com, ¹Instituto Tecnológico de Orizaba, araceli.oc@orizaba.tecnm.mx, ² Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, mari_ada@hotmail.com, ² Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, mormin@hotmail.com, ¹ Instituto Tecnológico de Orizaba, gabrico0875@gmail.com

Área de participación: INGENIERIA QUIMICA

Resumen

El presente trabajo presenta una opción tecnológica para poder obtener TPA (ácido tereftálico), como materia prima para la fabricación de nuevas botellas de PET que mantengan sus propiedades mecánicas sin la necesidad de producir TPA nuevo. Se evalúa el uso de tecnologías verdes estudiando el efecto de las microondas para asistir en la extracción del ácido tereftálico, a partir de botellas de polietileno tereftalato (PET) usadas. Los métodos de extracción que se estudiaron fueron, Hidrólisis acida asistida por microondas e Hidrólisis neutra asistida por microondas. El método con mejor rendimiento para la extracción del TPA fue la hidrólisis neutra asistida por microondas a 200°C y 1 g de acetato de zinc como catalizador con un rendimiento del 55%.

Palabras clave: MICROONDAS, TPA, PET, EXTRACCIÓN

Abstract

This paper presents a technological option to obtain TPA (terephthalic acid), as a raw material for the manufacture of new PET bottles that maintain their mechanical properties without the need to produce new TPA. The use of green technologies is evaluated by studying the effect of microwaves to assist in the extraction of terephthalic acid from used polyethylene terephthalate (PET) bottles. The extraction methods studied were microwave-assisted acid hydrolysis and microwave-assisted neutral hydrolysis. The method with the best yield for the extraction of TPA was microwave-assisted neutral hydrolysis at 200°C and 1 g of zinc acetate as catalyst with a yield of 55%.

Key words: MICROWAVE, TPA, PET, EXTRACTION

Introducción

En la actualidad existen tres términos que han provocado un cambio en la ingeniería química respecto a la forma de operar y producir, estos tres conceptos son: Química verde, Extracciones verdes y Tecnologías verdes. Una definición general de Química verde es la invención, diseño y aplicación de productos químicos y procesos para reducir o eliminar el uso y generación de sustancias peligrosas. En relación a las llamadas extracciones verdes se puede definir como "Extracción verde está basada en el descubrimiento y desarrollo de procesos de extracción los cuales pueden reducir el consumo de energía, uso de solventes alternativos, productos renovables a su vez asegurar la alta calidad en la relación extracto/producto [8]. Las tecnologías verdes son un grupo de técnicas empleadas de forma continua para la disminución de la contaminación de los ecosistemas, minimizando las repercusiones sobre las personas y los ecosistemas en general. Las tecnologías verdes consisten básicamente en adaptar nuestra rutina o quehaceres diarios de modo a afectar en la menor manera posible al medioambiente [1]. Algunos ejemplos de tecnologías verdes son las microondas. Las microondas son un tipo de energía radiante que forma parte del espectro electromagnético entre las ondas de radio y el infrarrojo con el fin de aumentar la frecuencia. Las frecuencias fluctúan entre 300 y 30.000 MHz. Las microondas irradian hacia fuera desde una fuente e igual que las ondas de luz visibles, se mueven a $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ en el espacio vacío. El calentamiento por microondas/volumétrico depende de muchos factores, incluidos la frecuencia e intensidad del campo, la temperatura, las propiedades dieléctricas, la homogeneidad y la consistencia, el calor específico, la forma, el tamaño y la estructura. Las propiedades dieléctricas a su vez son afectadas por la frecuencia, la temperatura, el

contenido de sales, de humedad y la densidad [3]. En la actualidad, la química de microondas no se limita a la síntesis orgánica. La radiación de microondas también se emplea con éxito y de forma rentable en campos como la síntesis orgánica, la síntesis inorgánica, la investigación de materiales, la química de polímeros y muchas otras aplicaciones [4]. Los polímeros son moléculas grandes (macromoléculas) formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes. El PET es un termoplástico poliéster semi cristalino que tiene como características su alta dureza, transparencia y seguridad. Para la manufactura del PET se requieren de intermediarios como lo son el ácido tereftálico (TPA) y el etilenglicol, los cuales son derivados del petróleo crudo. Cuando se calientan estos dos compuestos se forma un monómero, el bis(2-hidroxietil)tereftalato (BHET) [5]. Los poliésteres lineales más utilizados son los que provienen del ácido tereftálico y de los dioles alifáticos, en el caso del PET es el etilenglicol. El ácido tereftálico (TPA) es un compuesto químico utilizado principalmente como monómero precursor en la fabricación de polietileno tereftalato, el cual es usado ampliamente. El TPA es sintetizado vía química a través de una serie de reacciones de oxidaciones del p-xileno, un derivado del petróleo [7]. El ácido tereftálico grado polímero es usado para fabricar polietileno tereftalato, el polímero básico empleado en la fabricación de fibras, películas y botellas. La aplicación de más rápido crecimiento para el ácido tereftálico y el dimetil tereftalato son las botellas de poliéster; transparentes, ligeras y resistentes y por lo tanto un sustituto ideal para las botellas de vidrio. Pequeñas cantidades de ácido tereftálico grado polímero son empleadas en aplicaciones diversas; por ejemplo, intermediarios en adhesivos, recubrimientos, resinas, etc. El ácido tereftálico es también producido en gados técnicos los cuales no son compatibles para usarse en la fabricación de polietileno tereftalato (PET). Generalmente un gado técnico es usado principalmente por el fabricante para producir dimetil tereftalato o ácido tereftálico gado-polímeros. El dimetil tereftalato (DMT) es un éster y el etilenglicol (EG) es un alcohol. Cuando alcoholes y ésteres se unen, ejecutan una reacción que se llama transesterificación. El DMT es un componente intermedio importante en la producción del TPA. Para poder producir el Dimetil Tereftalato se utiliza el proceso de metanólisis que consiste en la degradación del PET por metanol a altas temperaturas y bajo condiciones de alta presión. Los principales productos de la degradación del PET por metanólisis son tereftalato de dimetilo (DMT) y etilenglicol (EG), que son materias primas necesarias para la producción de este polímero. El proceso de metanólisis es utilizado por los grandes fabricantes de PET así como por los pequeños. La posibilidad de ubicar una instalación para la metanólisis, en la línea de producción del polímero, es una de las ventajas de este método. De esta manera, el desecho generado del PET en el ciclo de producción se reutilizan y los monómeros recuperados se utilizan en la fabricación de nuevos polímeros. Las experiencias llevadas a cabo por empresas como DuPont y Hoersch Celanese han demostrado que los monómeros resultantes del reciclado químico son lo suficientemente puros para ser reutilizados en la fabricación de nuevas botellas de PET para bebidas gaseosas [6]. Los métodos para la obtención de TPA por medio de la despolimerización del PET, son hidrólisis ácida, hidrólisis neutra y síntesis por metanólisis. El presente trabajo muestra el efecto en la obtención de TPA cuando se aplican microondas a los diferentes métodos de obtención del TPA.

Metodología

Materiales

Se usaron botellas transparentes de PET,

Recolección y preparación de la materia prima.

El procedimiento que se realizó inicio con la Recolección de la materia prima, se emplearon botellas de PET marca bonafont, se adecuo la materia prima para la extracción. La adecuación consistió en lavar las botellas con agua y jabón para retirar la suciedad que pudiera tener, posteriormente se secaron con lienzos de papel. El siguiente paso de la adecuación de la materia prima fue la reducción de tamaño de partícula con el fin de obtener mejores resultados en los procesos de extracción, para ello se cortaron las botellas en cuadros de 3mm.

Extracción del TPA por Hidrólisis ácida asistida por microondas.

Se preparar una solución al 87% en volumen de ácido sulfúrico. La relación PET/ H_2SO_4 es 1:10 (peso-volumen), en un vial de 30 mL de volumen y se introduce en el microondas durante 5 minutos a dos diferentes temperaturas (70 °C y 90 °C). Posteriormente se filtra, la solución obtenida se deposita en una bureta, posteriormente en un matraz Erlenmeyer se coloca una solución de hidróxido de sodio para tener un pH entre 7.5-8, luego la mezcla se diluye con agua fría, y después con álcalis para obtener un nivel de pH 11. La siguiente etapa es la acidificación

de la solución usando ácido sulfúrico al 87% en volumen con el fin de precipitar el TPA. Después se filtra, se hacen lavados con agua y se seca, finalmente se obtiene el TPA.

Extracción del TPA por hidrólisis neutra asistida por microondas.

Se utilizaron dos relaciones PET/ H_2O / $Zn\ C_4H_6O_4 \cdot 2H_2O$, 1:12:1 y 1:12:0.5 (peso-volumen-peso), en un vial y se introduce en el microondas durante 30 minutos a una temperatura de 200 °C y 180 °C, posteriormente se filtra, la solución líquida contiene acetato de zinc y agua, los sólidos contenidos en el papel filtro se secan y posteriormente se colocan en un vaso de precipitado con agua destilada y se calientan a 50 °C, esto funciona para obtener un grado más alto de pureza del ácido tereftálico, después se filtra y se vuelve a secar, finalmente se obtiene TPA.

Resultados y discusión

Identificación del ácido tereftálico mediante cromatografía de capa fina

Para poder identificar el ácido tereftálico mediante cromatografía de capa fina (TLC) se realizaron diferentes pruebas para encontrar la fase móvil adecuada. En cada una de las placas se usó luz ultravioleta con una longitud de onda de 254 nm como revelador. En la Figura 1 se presenta las TLC correspondientes a cada prueba. Después de realizar todas las experimentaciones y revelarlas con luz ultravioleta se optó por el sistema 16, formado por 6 ml de propanol, 3.7 ml de acetona y 0.3 ml de ácido acético. El RF obtenido del estándar del TPA diluido en Dimetilformamida fue de 0.7143.

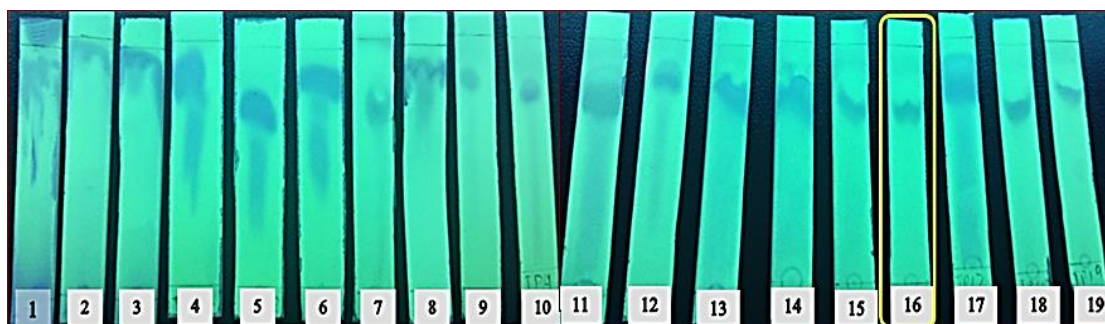


Figura 1. Experimentaciones para identificar el ácido tereftálico por medio de cromatografía de placa fina. La placa 1 corresponde al estándar del TPA, el sistema que se seleccionó para la identificación de TPA fue el correspondiente a la placa 16.

Espectrofotometría del infrarrojo del estándar del ácido tereftálico

Para identificar la molécula obtenida se realizaron espectros de infrarrojos de los extractos obtenidos. En la Figura 2, se muestra el espectro del estándar del ácido tereftálico obtenido mediante espectrofotometría del infrarrojo, se observa que el grupo del grupo cetona aparece en la longitud de onda de 1710 cm^{-1} , el grupo funcional del hidroxilo en 3330 cm^{-1} , y el grupo funcional del aromático aparece en 1660 cm^{-1} .

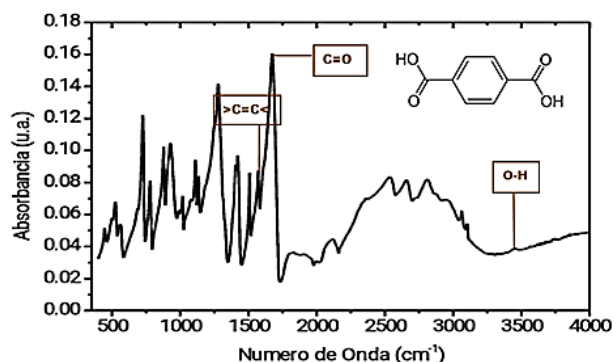


Figura 2. Espectro infrarrojo del estándar del ácido tereftálico

Extracción de TPA por hidrolisis ácida asistida por microondas

Para la extracción ácida se usó 10 mL de ácido sulfúrico al 87% en volumen, el volumen del vial de microondas fue de 30 mL. Se irradia por un tiempo de 5 minutos en el equipo de microondas a dos diferentes temperaturas, 70°C y 90°C. En la tabla 1, se muestran las cantidades obtenidas de ácido tereftálico. Como se puede apreciar en la Tabla 1, a 90°C se obtuvo un promedio de 0.3884 g de TPA, lo que representa un rendimiento de extracción del 39%, mientras que a 70°C se obtuvo un promedio de 0.353 g, lo que equivale a un rendimiento de extracción del 35%. Al producto obtenido se identifica por medio de una cromatografía de placa fina con la finalidad de identificar la presencia del TPA.

Tabla 1 Resultados obtenidos mediante hidrolisis ácida asistida por microondas

No. De experimento	Cantidad de ácido tereftálico (g)	
	70°C	90°C
1	0.3935	0.4891
2	0.2893	0.3705
3	0.3776	0.3056

En la figura 3, se muestra la placa en la cual se identifica el ácido tereftálico, el primer punto es el estándar.

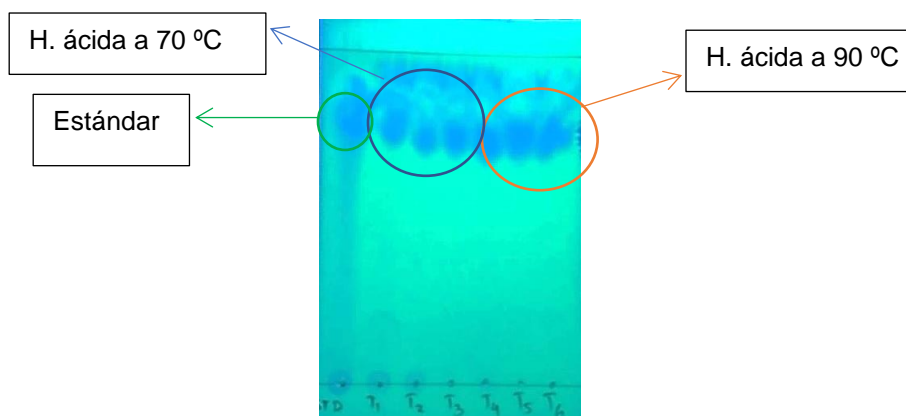


Figura 3. Placa de identificación de ácido tereftálico obtenido mediante hidrólisis ácida en microondas a 70°C y 90°C.

En la Figura 4, se muestra el espectro infrarrojo del estándar del TPA en comparación con los espectros de las muestras que se obtuvieron mediante la extracción ácida asistida por microondas. La línea ACI20MW representa el extracto obtenido mediante hidrolisis ácida asistida por microondas a 70°C; la línea HACI90MW representa el extracto obtenido mediante hidrolisis ácida asistida por microondas a 90°C. En todas se puede observar que los grupos funcionales que conforman la molécula del TPA aparecen en sus respectivas longitudes de onda.

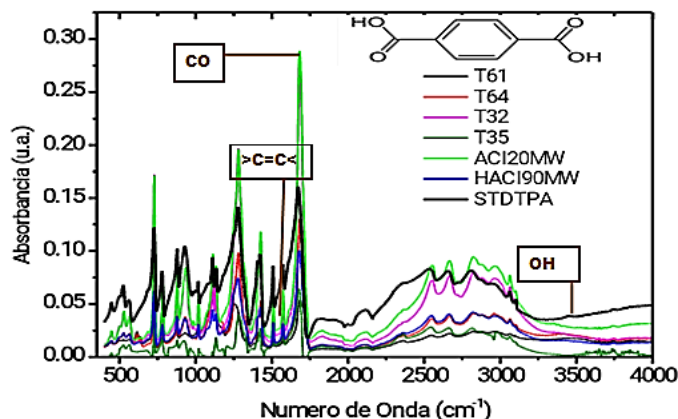


Figura 4. Comparación de espectros del infrarrojo del estándar de TPA con muestras de extractos obtenidos por hidrolisis ácida asistida por microondas.

Extracción de TPA mediante hidrolisis neutra asistida por microondas.

La extracción por hidrolisis neutra se realizó en el equipo de microondas con un tiempo de irradiación de 30 minutos a dos temperaturas, 180°C y 200°C, en cada una de ellas se trabajaron dos cantidades de catalizador 0.5 y 1 g de acetato de zinc con 12 mililitros de agua destilada. En la Tabla 2, se muestran los resultados obtenidos a 200 °C con 0.5 g y 1 g de acetato de zinc, en la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos con una temperatura de 180 °C, 0.5 g, 1 g de acetato de zinc.

Tabla 2. Resultados obtenidos con hidrólisis neutra 200°C con 1 y 0.5 g de acetato de zinc.

No. De experimento	Cantidad de ácido tereftálico (g)	
	200 °C con 1 g de acetato de Zinc	200 °C con 0.5 g de acetato de Zinc
1	0.5649	0.5108
2	0.5425	0.5091
3	0.5428	0.5155

Para la extracción a 200°C con 1g se obtuvo un promedio de 0.55 g, correspondiente a un 55% de rendimiento. La extracción realizada con 0.5 g de catalizador se obtuvo un promedio de 0.5118 g (51%). En la figura 5 se muestra la placa en la cual se identifica el ácido tereftálico el primer punto es el estándar.

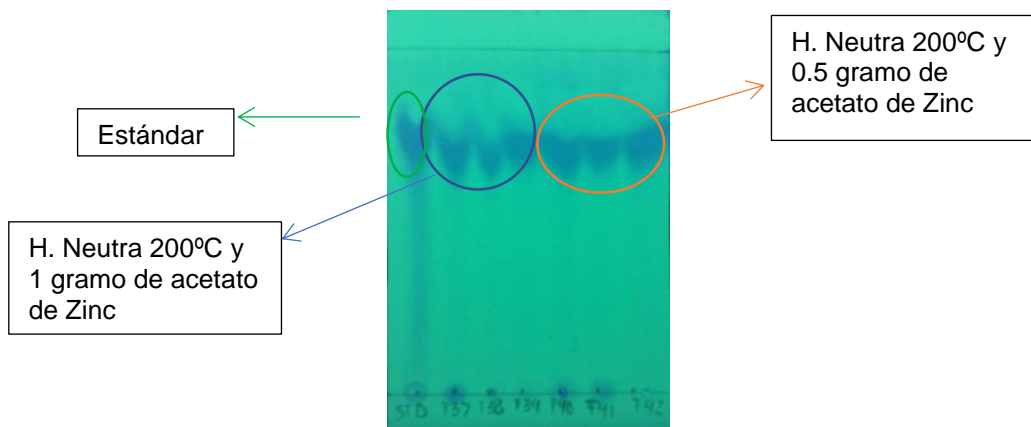


Figura 5. Placa de identificación de ácido tereftálico obtenido mediante hidrólisis neutra en microondas a 200°C.

Para las extracciones a 180°C las cantidades a usar de acetato de zinc fueron 1 g y 0.5 g. En la Tabla 3 se presentan las cantidades de extracto obtenido.

Tabla 3. Resultados obtenidos con hidrólisis neutra 180°C con 1 y 0.5 g de acetato de zinc.

No. De experimento	Cantidad de ácido tereftálico (g)	
	180 °C con 1 g de acetato de Zinc	180 °C con 0.5 g de acetato de Zinc
1	0.0855	0.0121
2	0.0821	0.0175
3	0.0846	0.0153

Para este caso de extracción se obtuvo un promedio de 0.084 g, lo que es un rendimiento de 8.1%, para 0.5 g de acetato de zinc se obtuvo 0.014 g, un rendimiento de 1.4% de TPA.

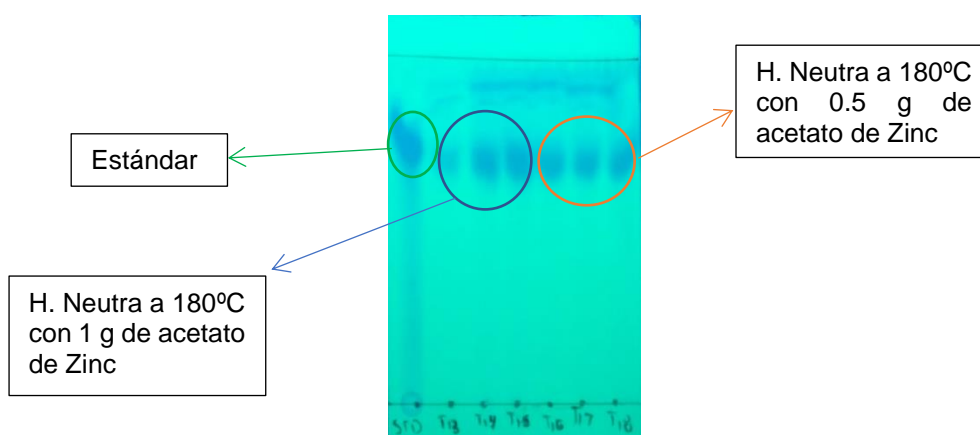


Figura 6. Placa de identificación de ácido tereftálico obtenido mediante hidrólisis neutra en microondas a 180 °C

En la Figura 7, se muestran los espectros del infrarrojo para el TPA obtenido por hidrolisis neutra. La línea T12 representa la extracción mediante hidrolisis neutra a través de microondas a 200°C con 0.5 g de acetato de zinc; la línea T7 representa la extracción mediante hidrolisis neutra a través de microondas a 200°C con 1 g de acetato

de zinc. En todas se puede observar que los grupos funcionales que conforman la molécula del TPA aparecen en sus respectivas longitudes de onda.

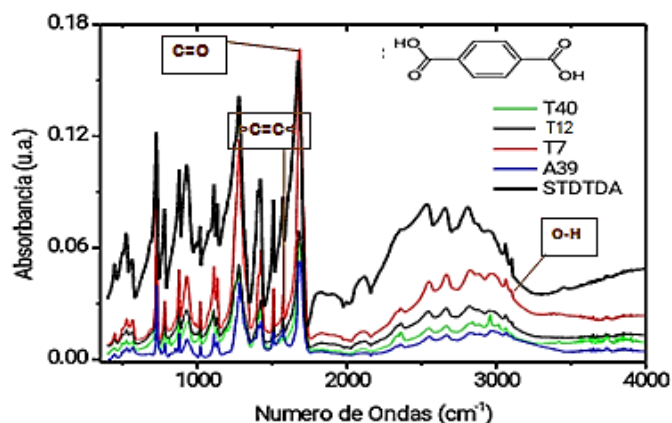


Figura 7. Comparación de espectros del infrarrojo del estándar de TPA con muestras de extractos obtenidos por hidrólisis neutra asistida por microondas.

Trabajo a futuro

Dar un pretratamiento usando ultrasonido con el fin de afectar la superficie del PET. Realizar la metanolisis del PET para obtener el dimetil terftalato usando microondas y ultrasonido.

Conclusiones

El efecto de la despolimerización del PET usando microondas para la obtención del ácido tereftálico a partir de las botellas de PET permitió una mejora en los rendimientos de extracción de esta materia prima. La hidrólisis neutra asistida por microondas del PET, usando 1 g de acetato de zinc como catalizador fue el método mas eficiente para la obtención del TPA obteniéndose 0.55 g de TPA a partir de 1 g de PET. Aunque la hidrólisis ácida requiere de un menor tiempo de irradiación de microondas, se lograron rendimientos del 39% a una temperatura de 90°C. La obtención del ácido tereftálico mediante hidrólisis neutra a partir de las botellas de PET usadas, es de gran relevancia tanto económica como ambientalmente, ya que al establecer un proceso de reciclaje del TPA que es la materia prima necesaria para la producción del PET se está evitando un aumento en la cantidad de residuos y el uso de hidrocarburos. Los procesos de reciclaje químico del PET establecidos en este trabajo, son una opción viable para disminuir la contaminación por plásticos que se presenta hoy en día, este proceso consiste en la depolimerización con la cual se obtendrán productos químicos que pueden ser utilizados para la elaboración de PET virgen.

Agradecimientos

Agradecemos al Instituto Politécnico Nacional por su apoyo en la realización del presente trabajo.

Referencias

- [1] Anastas PT, Zimmerman JB (Eds), "Innovations in Green Chemistry and Green Engineering", Selected Entries from the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. Springer Science +Business Media, New York, 2013.
- [2] Poux M, Cognet P, Gourdon C (Eds), "Green Process Engineering: From Concepts to Industrial Applications", CRC Press, Boca Raton, FL, 2015.
- [3] Stefanidis G, Stankiewicz A (Eds), "Alternative Energy Sources for Green Chemistry", Royal Society of Chemistry publication, Green Chemistry Series Cambridge, 2016.
- [4] Geyer , B., Lorenz , G., & Kandelbauer, A. , "Recycling of poly(ethylene terephthalate) A review focusing on chemical methods", *Express polymer*, 573-574. 2016
- [5] A.M. Al-Sabagh a , F.Z. Yehia b , Gh. Eshaq b , A.M. Rabie b , A.E. ElMetwally, "Greener routes for recycling of polyethylene terephthalate", *Egyptian Journal of Petroleum* 25, 53–64, 2016
- [6] Kappe, O, "Controlled Microwave Heating in Modern Organic Synthesis", *Angewandte Chemie*, 6254. 2004
- [7] Zi Wei and Sang Yuplee, "Biotransformation of p-xylene into terephthalic acid by engineered Escherichia coli", *Nature Communications*, 31 may 2017.
- [8] Farid Chemat, Maryline Abert Vian, Giancarlo Cravotto, "Green extraction of natural products: Concepts and principles", *International Journal of molecular Sciences*. 13, 8615-8627, 2012,

Evaluación de dos diferentes sistemas para la propagación *in vitro* de plantas de arándano

I. Aguilar-Olmos¹, M. I. Montero-Cortés^{1*}, A. M. Chávez-Rodríguez¹, H. Salgado-Ortiz², J. A. Qui Zapata³

¹Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tlajomulco, Km 10 carretera Tlajomulco - San Miguel Cuyutlán, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco C.P. 45640, México.

²Hortifrut México, Ciudad Granja, Zapopan Jalisco, México, C.P. 45010

³Unidad de Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C., Camino Arenero 1227, El Bajío. C.P. 45019 Zapopan, Jalisco México
[*mayraitz@yahoo.com.mx](mailto:mayraitz@yahoo.com.mx),

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El arándano (*Ericaceae*) es originario de Norte América es una planta perenne y arbustiva, por su valor nutricional presenta gran demanda, su micropropagación puede ser por microesquejes. En este trabajo se evaluó el efecto de nuevos brotes de plantas de arándano, empleando dos sistemas (cerrado y semiabierto) y evaluando la posición del explante (horizontal y vertical). Se utilizaron nudos como explante inicial, colocados en medio WPM, suplementado con 0.05mg/L de 2iP, 3%(p/v) sacarosa y 8g/L de agar, con pH de 5.0, fotoperiodo (12h luz) y 25°C de temperatura. Los parámetros de desarrollo se evaluaron a los 60 días, sin diferencia significativa para el número de brotes, el sistema semiabierto presentó mayor formación de numero de nudos (NN), 5.15 (explante horizontal) y 4.45 (explante vertical) comparado con el sistema cerrado (4.15 y 3.8 NN). El sistema semiabierto generó mayor número de brotes y nudos, independientemente de la posición del explante.

Palabras clave: *Vaccinium corymbosum*, *in vitro*, micropropagación, nudo.

Abstract

The blueberry is native to North America, belongs to the *Ericaceae* family, is perennial and shrubby, due to its nutritional value it is in great demand, and its micropropagation is through microcuttings. The effect of new shoots of blueberry plants was evaluated, using two systems (closed and semi-open) and evaluating the position of the explant (horizontal and vertical). Knots were used as initial explant, placed in WPM medium, supplemented with 0.05mg/L of 2iP, 3%(w/v) sucrose and 8g/L of agar, with pH 5.0, photoperiod (12h light) and 25°C. Of temperature. The development parameters were evaluated at 60 days, without significant difference for the number of shoots, the semi-open system presented a higher number of nodes (NN), 5.15 (horizontal explant) and 4.45 (vertical explant) compared to the closed system. (4.15 and 3.8 NN). The semi-open system generated a greater number of shoots and nodes, regardless of the position of the explant.

Key words: *Vaccinium corymbosum*, *in vitro*, micropropagation, node.

Introducción

El arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) es una planta que pertenece a la familia *Ericaceae*, perenne que se caracteriza por ser arbustiva, llegando a medir entre 1.5 y 7 metros. Otra característica importante es que requiere aproximadamente de unas 800 horas de frío para poder iniciar su reproducción. Es originaria de Norte América (EE.UU. y Canadá), sus frutos son bajos en calorías y tienen un alto contenido de fibra dietéticas, grandes cantidades de antioxidantes (vitamina C y K, betacaroteno, ácido fólico, antocianinas), presentan agentes antifúngicos, como antocianósidos y ácido benzoico. Debido a estas propiedades, su fruto es consumido en estos países [1]. Los frutos se consumen en frescos o procesados, tales como congelados, enlatados, líquidos, concentrados y productos secos, como conservas, dulces, jaleas, jugos, jarabes, helados, pastas, también se utilizan como suplementos nutricionales y productos farmacéuticos. Debido a que este cultivo no es producido todo el año en los países de Norteamérica, en el sur y centro América como Perú Chile y México se han establecido variedades adaptadas a climas con temperaturas más altas, sin necesidad de alcanzar sus horas de frío. El desarrollo de variedades, como Biloxi, ha impulsado la exportación en los meses de agosto-diciembre, en donde la producción se centra en Latinoamérica [2].

El arándano se propaga convencionalmente por enraizamiento de estacas, esta propagación es lenta y muchos genotipos no tienen buena respuesta en la inducción de raíces [6], además de que este método no asegura la producción de plantas libres de enfermedades [5]. Dada la demanda actual también se micropropaga utilizando meristemos o micro esquejes [3]. Debido a que los productores requieren grandes cantidades de plantas, se ha optado por la propagación *in vitro* ya que esta permite producir plantas libres de enfermedades y además se logra una producción masiva en un periodo corto de tiempo. La micropropagación se realiza en ambientes controlados, espacios pequeños, comparados con viveros, y menor mano de obra [4]. Por otro lado, la propagación comercial también puede estar limitado por el costo de producción, debido a la manipulación requerida en las diferentes etapas del proceso [7, 8], por lo que es importante buscar alternativas que permitan disminuir los costos del proceso y hacerlo más rentable. Por lo anterior en el presente trabajo se emplearon diferentes tratamientos que permitan obtener el mayor número brotes con la finalidad de optimizar el escalamiento de la producción de plantas *in vitro*, bajo condiciones controladas que permitieron obtener resultados favorables para la propagación masiva de arándano.

Metodología

Material vegetal

Se utilizaron plantas de arándano (*Vaccinium corymbosum*) *in vitro* desarrolladas en Medio de Multiplicación (MM) que consiste en el uso del medio de cultivo Lloyd y McCown conocido como "Woody Plant Medium (WPM [9], suplementado con 0.05 mg/L de 2iP (6-(γ - γ -dimetilalilamino) purina) con 3% (p/v) sacarosa y 8 g/L de agar, a un pH de 5.0, en condiciones de fotoperiodo (12h luz) a una temperatura de 25°C. Para los experimentos de este trabajo se emplearon como explante inicial secciones de plantas *in vitro* con 4 nudos y con una longitud aproximada de 1.5 cm de largo.

Establecimiento de experimento

Para evaluar el efecto de la generación de brotes de las plantas de arándano se aplicaron cuatro tratamientos, en los que se emplean dos tipos de sistemas: sistema cerrado, en el que no se tiene intercambio de gases con el exterior y el sistema semiabierto, el cual contiene una cinta de microporos que permite el intercambio de gases entre el interior y el exterior del sistema. Por otro lado, también se evaluó la posición del explante tanto en forma vertical como horizontal en el interior del sistema. Los tratamientos de este experimento se desarrollaron de la siguiente manera: T1- Sistema cerrado + posición de explante horizontal, T2- Sistema semiabierto + posición de explante horizontal, T3- Sistema cerrado + posición de explante vertical y T4- Sistema semiabierto + posición de explante vertical. Los explantes se mantuvieron en condiciones de fotoperiodo de 16h luz a una temperatura de

25°C. Se efectuaron cambios de medio de cultivo cada treinta días, en el primer mes se colocaron los explantes seleccionados en el medio de multiplicación (MM), mientras que en el segundo mes se utilizó el medio de alargamiento (MA) que consiste en el uso del medio WPM [9], suplementado con 3% (p/v) sacarosa y 8 g/L de agar, a un pH de 5.0, sin reguladores de crecimiento, todos los medios de cultivo preparados fueron autoclaveados a 121°C por 20 min a 105kPa.

Diseño experimental y análisis de datos

Se realizaron evaluaciones a los 30 y 60 días de los explantes en los diferentes tratamientos, se midió los números de brotes (NB), número de hoja (NH), los números de nudos (NN), presencia de callo (C) y número de raíces (NR). Se empleó un diseño experimental completamente al azar y los datos presentados corresponden a la media de cuatro repeticiones con cinco explantes por tratamiento. Los datos obtenidos durante el experimento se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA). La comparación de medias se determinó por la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

Resultados y discusión

De acuerdo con las observaciones, todos los brotes desarrollados en cada uno de los explantes presentaban una similitud en cuanto al color, es decir una coloración rosa tenue y morfología de forma oblicua en las hojas, (Figura 1). De acuerdo con la evaluación, el número de nudos presentó una relación directamente proporcional con el número de hojas en cada uno de los tratamientos, presentando un mínimo de 4 y un máximo de 10 nudos, como se puede observar en la tabla 1. Durante la evaluación no se observó crecimiento de raíz en ninguno de los tratamientos. En cuanto a la generación de callos, el tratamiento uno, presentó el menor porcentaje de callo (30%) comparado con los otros tratamientos (T2 al T4) los cuales presentan valores entre 60% y 75% de callos en los explantes. En cuanto a este parámetro el único tratamiento que presenta diferencia significativa fue el tratamiento T1 con respecto a los otros tratamientos (T2 al T4), es importante destacar que en la mayoría de los explantes se generaron las callosidades en la base, en algunos casos hubo inducción de meristemas a partir de los callos (Figura 1C), mientras que en otros callos no se observó diferenciación celular (Figura 1G). Los callos, son células vegetales en proceso de diferenciación en constante división celular según el genotipo del explante, causado principalmente por la concentración y combinación de reguladores de crecimiento adicionados al medio de cultivo o generados por el mismo explante [15].

Los parámetros número de raíz (NR) y número de brotes (NB) fueron los únicos que no mostraron diferencias significativas, sin embargo, se puede observar que en los tratamientos de este experimento se obtuvo mayor generación de NB en los tratamientos T2 y T4 con 3.75 y 3.50 respectivamente, mientras que en los tratamientos T1 y T3 presentaron el menor número de brotes con 1.85 y 2.60 respectivamente (Tabla 1). Cabe mencionar que independientemente de la posición del explante (horizontal o vertical), los nudos que presentaban el meristemo apical no generaron brotes axilares (Figura 1E, 1F y 1H), esto debido a la dominancia apical. En algunas especies, las señales del ápice del brote principal inhiben el crecimiento de las yemas, un fenómeno conocido como dominancia apical. Poco después del descubrimiento de que la señal apical que inhibe el crecimiento de las yemas axilares es la hormona vegetal auxina [17]. En este proceso los principales reguladores de crecimiento que intervienen son; ácido indol acético (AIA), ácido indol butírico (AIB), ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), Ácido α -naftalenacético (NAA) (sintético) [16]. En los explantes que no presentaban el meristemo apical se observó que generaron mayor número de brotes axilares (Figura 1A-B y 1G).

Durante el desarrollo del experimento se pudo observar que en los sistemas cerrado (T1 y T3), tanto en posición horizontal como en vertical se presentó mayor porcentaje de explantes fenolizados (45%, datos no mostrados). Estudios realizados por Arencibia y colaboradores [10], señala que el medio de cultivo WPM es el mejor para la propagación de arándano, con el cual se presentan menos problemas de fenolización.

En el cultivo in vitro algunos explantes generan etileno (C_2H_4), en este proceso de propagación el empleo de un sistema cerrado puede acumular gran cantidad de este componente, inhibiendo la embriogénesis somática, la organogénesis y provocando a la larga la senescencia de los explantes bajo estas condiciones [18]. Debido a lo anterior algunos estudios se han basado en la aplicación de inhibidores del etileno ($AgNO_3$, cloruro de cobalto y $Na_2S_2O_3$) o inhibidores de la síntesis del etileno (ácido salicílico), para suprimir su efecto negativo en la propagación in vitro [14], otros autores han optado por modificar el sistema de tal forma que se permita el intercambio de gases y así evitar la acumulación de etileno en el sistema. En la mayoría de los recipientes

utilizados actualmente en los diferentes sistemas de micropropagación permiten el intercambio de gases. Este aspecto evita la acumulación de altas concentraciones de etileno entre otros gases en la atmósfera de cultivo. Al realizar tratamientos exógenos de etileno, se debe tomar en cuenta su pérdida, especialmente en establecimientos de cultivos [19].

Tabla 1. Parámetros de desarrollo de la etapa de multiplicación de plantas de arándano a partir de nudos en el día 60 de cultivo in vitro. 4.15 y 3.8

Tratamientos	*NN	*NH	*NR	*%Callo	*NB
T1	4.15±0.096 ab	4.15±0.096 ab	0.00±0.00 a	30.0±5.8 b	1.85±0.71 a
T2	5.15±0.250 a	5.15±0.250 a	0.00±0.00 a	70.0±5.8 a	3.75±0.51 a
T3	3.80±0.141 b	3.8±0.141 b	0.00±0.00 a	60.0±0.00 a	2.60±0.91 a
T4	4.45±0.390 ab	4.45±0.39 ab	0.00±0.00 a	75.0±5.0 a	3.50±0.420 a

*En el cuadro se presenta el valor de las medias ± error estándar (EE). Letras diferentes denotan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

A los dos meses de evaluación, los explantes comenzaron a producir diferentes brotes, observándose variaciones entre cada tratamiento en parámetros de crecimiento que se evaluaron. En el tratamiento 1 (figura 1A) los brotes generados presentaron poco crecimiento, en el caso del tratamiento T2, se observó mayor formación de número de brotes en cada explante (Figura 1B), en el tratamiento 3 (figura 1C), las hojas más desarrolladas de los explantes presentaron una colocación amarillenta y no generaron muchos nudos (3.8 NN) a diferencia de los tratamientos 2 y 4 con 5.15 y 4.45 respectivamente. Por lo que se pudo observar que los mejores tratamientos fueron el T2 y T4, los cuales permiten el intercambio de gases con el exterior.

En los estudios realizados por George [12], menciona que el establecimiento *in vitro* de tejidos vegetales de algunas especies de plantas leñosas está en gran medida limitado por la ocurrencia de oscurecimientos letales en los explantes y en el medio de cultivo. Esto constituye uno de los problemas más serio y frecuente, desde el inicio y durante el mantenimiento de un tejido en condiciones *in vitro*. El oscurecimiento enzimático de los tejidos, causado por la oxidación de compuestos fenólicos para formar quinonas, está principalmente catalizado por el polifenol oxidasa (PPOs), y la tasa de oxidación fenólica puede ser disminuida mediante una reducción en la actividad de las enzimas oxidativas o mediante la disminución del sustrato disponible para su oxidación [12]. El uso de antioxidantes en tejidos vegetales que eliminan especies reactivas de oxígeno (ROS) afecta negativamente las vías metabólicas en células vegetales que son críticas para la diferenciación de órganos [21]. La liberación de sustancias fenólicas es común en tejidos lastimados, estos compuestos pueden inhibir la actividad enzimática y en la mayoría de las veces letales para el desarrollo de plantas. La inhibición del crecimiento es más severa en especies con altos niveles de taninos u otros hidroxifenoles. La luminosidad es fundamental en la producción de estas sustancias, incrementando o compensando la producción [20].

La acumulación de altas concentraciones de etileno en los recipientes afecta las propiedades físicas del sistema, principalmente en sistemas cerrados debido a que no se cuenta con el espacio para la liberación de este gas. Respecto a lo observado en el experimento realizado, los explantes con sistema cerrado tanto vertical como horizontal presentaron mayor porcentaje de fenolización (45%), aunque todos fueron extraídos de plantas jóvenes, los explantes fenolizados empezaron a verse necróticos a partir de la cuarta semana, hasta el término de la evaluación, presentando muerte total de los explantes.

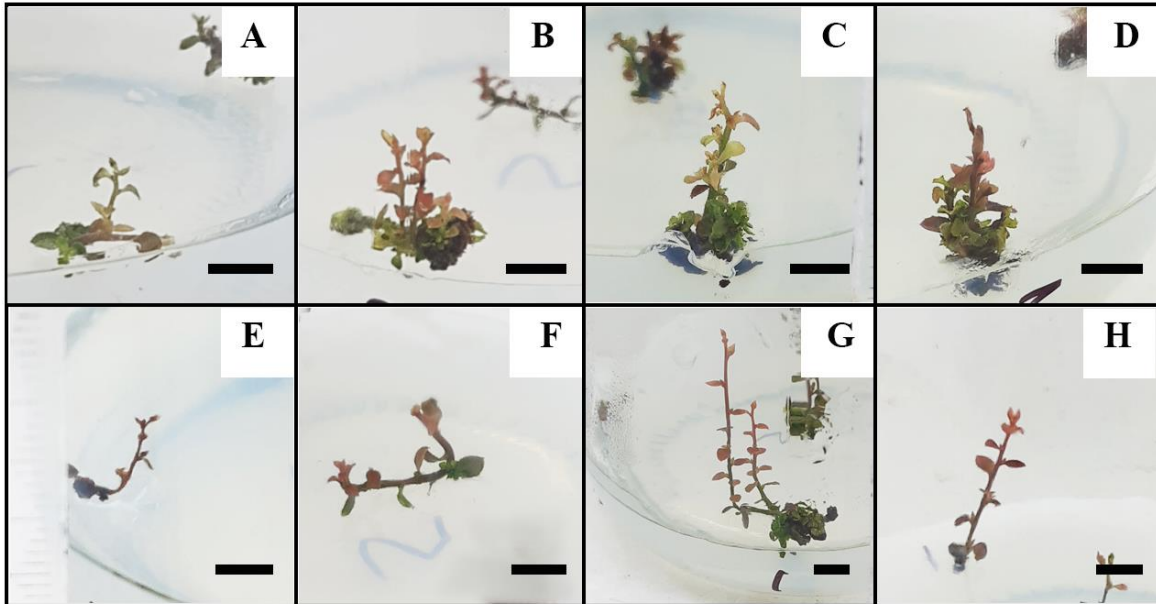


Figura 1. Multiplicación de arándano (*Vaccinium corymbosum*). A. T1 (sistema cerrado, posición de explante horizontal); B. T2 (Sistema semiabierto, posición de explante horizontal); C. T3 (sistema cerrado, posición de explante vertical); D. T4 (Sistema semiabierto, posición de explante vertical); E-F. Explante con meristemo apical; G. Explante con desarrollo de callo en la base; H. Explante sin desarrollo de callo. Escala representa 0.5cm.

De acuerdo con estos resultados se generó una gráfica de superficie de respuesta en la que se puede observar la generación del número de nudos y número de brotes de acuerdo con las condiciones evaluadas en este proyecto.

Como se puede observar en la figura 2, se muestra la formación del número de nudos (Figura 2A) y número de brotes (figura 2B). El parámetro número de nudos (NN) reflejó una mayor producción en el sistema 2 (sistema semiabierto), con una posición horizontal del explante, representado con el número cero (0) en la gráfica, comparado con el sistema 1 (sistema cerrado), con explantes en una posición vertical, representado por el número uno (1), Figura 2A. En cuanto a la figura 2B, el sistema 2 (semiabierto), independientemente de la posición del explante, presentaron el mayor número de brotes comparado con el sistema 1 (cerrado).

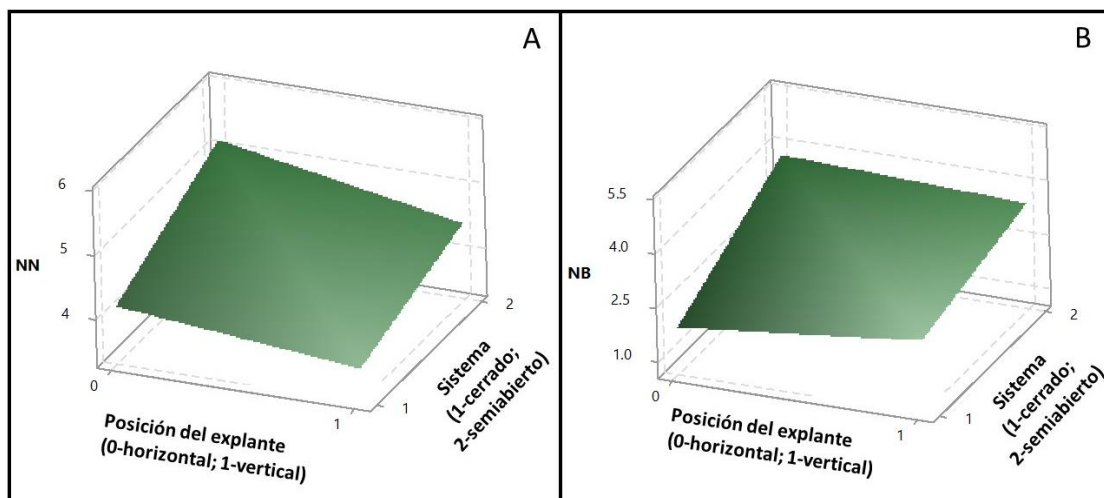


Figura 2. Graficas de superficie de respuesta que muestra el efecto en la posición del explante y el sistema empleado sobre la inducción de número de nudos (NN) y número de brotes (NB) en los explantes A. Numero de nudos (NN) y B. Numero de brotes (NB).

De acuerdo con el análisis de varianza el número de nudos se vio afectado significativamente por los sistemas empleados en el experimento (cerrado y semiabierto), presentando un valor de P inferior a 0.05 ($P=0,006$), mientras que, en el número de brotes, parece no tener efecto alguno ($P=0,055$). En cuanto a la posición del explante en las variables NN y NB, se presentó diferencia significativa, donde NN presentó un valor de ($P=0,054$) y NB ($P=0,711$). La interacción entre los dos factores (sistema y posición del explante), parece no afectar la producción del número de nudos ($P=0.489$) y número de brotes ($P=0.463$) en el experimento evaluado en el día 60 de cultivo (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza de los efectos de la posición del explante, el sistema empleado (cerrado, semiabierto) y su interacción en la inducción del número de nudos (NN) y número de brotes (NB) en los explantes de arándano.

Número de nudos					
Factor	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Sistema	1	2.7225	2.7225	11.3	0.006
Posición del explante	1	1.1025	1.1025	4.58	0.054
Sistema*Posición de explante	1	0.1225	0.1225	0.51	0.489
Error	12	2.8900	0.2408		

Número de brotes					
Factor	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Sistema	1	7.8400	7.8400	4.50	0.055
Posición del explante	1	0.2500	0.2500	0.14	0.711
Sistema*Posición de explante	1	1.0000	1.000	0.57	0.463
Error	12	20.9000	1.7417		

Trabajo a futuro

Para trabajos futuros se recomendaría homogeneizar el explante a emplear, eligiendo solamente explantes sin meristemo apical, tomando en consideración el efecto que causa la dominancia apical, al momento de establecer un experimento similar, es decir que los explantes seleccionados no cuenten con el meristemo apical, así como incrementar el número de nudos de entre 8 por explantes, establecer las condiciones de aclimatación y enraizamiento de explantes desarrollados y llevar a cabo el escalamiento de cada uno de los procesos de micropropagación en las plantas de arándano. Tomando en cuenta la importancia que tiene la producción de etileno en la propagación *in vitro*, se recomienda hacer pruebas de tolerancia de este gas en plantas, con la finalidad de saber la concentración producida y resistencia que puede tener la plantas hacia este factor.

Conclusiones

En la presente investigación se pudo observar el efecto que tiene ambos sistemas durante la morfogénesis de arándano (*Vaccinium corymbosum*) en cultivo *in vitro*. Se observó que en los sistemas semiabierto el desarrollo vegetativo de los explantes fueron más efectivos en la formación de nudos y brotes que, en los sistemas totalmente cerrados, en cuanto a las posiciones de los explantes se obtuvo mejor crecimiento en la posición vertical y horizontal de los sistemas semiabierto. Se obtuvo poca presencia de callos y ninguna de las repeticiones presentó raíz, la mejor respuesta para la inducción de brotes y nudos para la etapa de multiplicación fue el empleo de sistemas semiabierto, los cuales permiten el intercambio de gases con el exterior.

El crecimiento de brotes axilares es un parámetro importante en la propagación, el cual nos permite generar más explantes para incrementar la etapa de multiplicación *in vitro*.

Referencias

- (1) Armando C, Urrego H. El arándano en el Perú y el Mundo: Producción, Comercio y Perspectivas. Lima, Perú. MINAGRI-DEEIA. 2016.
- (2) Farje I, Haddad M, Olcese M, Sánchez J. Creación de una empresa para la producción y exportación de fruta fresca de arándano [Tesis]. Perú: Universidad Privada de Ciencias Aplicadas. 175 p;. 2015.
- (3) Undurraga P, Vargas S. (eds.). Manual del arándano. Boletín INIA N° 263. 120 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. 2013.
- (4) Hine A. Abdelnour A. Establecimiento in vitro de arándano (*Vaccinium corymbosum* L). Tecnología en Marcha, 2013.
- (5) González, M.V., "Micropropagation of three Berry fruit species using nodal segments from field-grown plants. Ann. Appl. Biol. 137, 073-078, 2000.
- (6) Gough, R.E. "The highbush blueberry and its management". CRC Press, New York, NY, 1993.
- (7) George "Plant Propagation by tissue Culture. Part 1. The technology. Exegetics Ltd., Edington, England., 1993.
- (8) George "Plant Propagation by tissue Culture. Part 2. In Practice. Exegetics Ltd, Edington, England., 1993.
- (9) Lloyd G y McCown B. Commercially feasible micropropagation of mountain laurel (*Kalmia latifolia*) by use of shoot tip culture. Combined Proceedings of International Societies 30:421-427. 1980.
- (10) Arencibia A, Vergara C, Quiroz K, Carrasco B, Bravo C, Garcia R. An Approach for Micropropagation of Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) Plants Mediated by Temporary Immersion Bioreactors (TIBs). American Journal of Plant Sciences. 04(05):1022-1028. doi: 10.4236/ajps.2013.45126. 2013.
- (11) Zepeda, C; Sagawa, Y. In vitro propagation of pineapple. HortScience 16:495. 1981.
- (12) George, E. Plant propagation by tissue culture; part 2. In Practice. 2 ed. Exegetics Limited. England. 1361 p. 1996.
- (13) Fraignier, M; Marques, L., Fleuriet, A., Macheix, J. Biochemical and immunochemical characteristics of polyphenol oxidase from different fruits of *Prunus*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 43: 2375-2380. 1995.
- (14) Kumar, V.; Parvatam, G. and Ravishankar, G. A. AgNO₃ -a potential regulator of ethylene activity. 2009.
- (15) Larson, C., C. Gómez., M. Sánchez & D. Ríos. Inducción de caulogénesis indirecta en *Eucalyptus globulus*. Bosque 27(3): 250-257. 2006.
- (16) NOVA.; Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. 17 (32): 109-129. 2019.
- (17) Kebrom T. H., A Growing Stem Inhibits Bud Outgrowth - The Overlooked Theory of Apical Dominance. Front Plant Sci. 2017 Oct 31;8:1874. doi: 10.3389/fpls. 01874. PMID: 29163599; PMCID: PMC5671643. 2017.
- (18) J. Seong Park Aung Htay Naing, Ch. Kil Kim. Effects of ethylene on shoot initiation, leaf yellowing, and shoot tip necrosis in roses. DOI 10.1007/s11240-016-1066-6. 2016.

- (19) Jackson, MB; Abbot, AJ; Belcher, AR; Pasillo, KC; Mayordomo, R.; Cameron, J. Ventilación en cultivos de tejidos vegetales y efectos de la mala aireación en la acumulación de etileno y dióxido de carbono, agotamiento de oxígeno y desarrollo de explantes. *Ana. Bot.*, 67, 229–237. 1991.
- (20) Azofeifa, A. Problemas de oxidación y oscurecimiento de explantes cultivados *in vitro* *Agronomiamesoamericana*1(20), 153 175. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v20n01_153.pdf. 2009.
- (21) 129. Gechev TS, Van Breusegem F., Stone JM, Denev I., Laloi C. Especies reactivas de oxígeno como señales que modulan las respuestas al estrés de las plantas y la muerte celular programada. *Bioensayos.*; 28 :1091–1101. 2006.

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE ARROZ INTEGRAL PRECOCIDO

Rosalía América González Soto*¹, Maribel Fernández López¹, Claudia Andrea Romero Bastida¹
¹Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-Instituto Politécnico Nacional. rsoto@ipn.mx

Área de participación: Ingeniería química

Resumen

El arroz integral tiene alto contenido de compuestos bioactivos, presentes en el salvado. Los productos precocinados ofrecen una ventaja de preparación rápida y facilitan el consumo. El objetivo de este estudio fue aplicar un tratamiento de precocción al arroz integral "La Perseverancia", con denominación de origen del municipio de Jojutla, Morelos; para obtener un producto de cocción rápida, evaluando la cantidad de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante remanentes en el arroz cocinado. El arroz integral fue sometido a un proceso de precocción en una olla de presión a diferentes tiempos. El análisis de perfil de textura (TPA), indicó que no existe una diferencia significativa en las muestras de arroz cocinado en tiempos de 35 y 40 minutos, sin embargo, muestra mejores características culinarias para su consumo, el arroz de 40 minutos; el porcentaje de compuestos extraíbles fue de 21%, taninos condensados 90% y taninos hidrolizados 68.7% en las muestras precocidas.

Palabras clave: Arroz integral, precocción, capacidad antioxidante, análisis de perfil de textura.

Abstract

Brown rice has a high content of bioactive compounds, present in the bran. Precooked products offer an advantage of quick preparation and ease of consumption. The objective of this study was to apply a precooking treatment to "La Perseverancia" brown rice, with designation of origin from the municipality of Jojutla, Morelos; to obtain a fast cooking product, evaluating the amount of phenolic compounds and antioxidant capacity remaining in the cooked rice. Brown rice was subjected to a precooking process in a pressure cooker at different times. The texture profile analysis (TPA), indicated that there is no significant difference in the samples of rice cooked in times of 35 and 40 minutes, however, it shows better culinary characteristics for its consumption, the rice of 40 minutes; the percentage of extractable compounds was 21%, condensed tannins 90% and hydrolyzed tannins 68.7% in the precooked samples.

Key words: Brown rice, precooking, antioxidant capacity, texture profile analysis.

Introducción

Las enfermedades crónico-degenerativas, denominadas también como enfermedades no transmisibles (ENT) son una de las principales causas de muertes a nivel mundial. "Más de 36 millones de personas mueren anualmente por ENT (63% de muertes globales), incluidas más de 14 millones de personas que mueren demasiado jóvenes entre los 30 y los 70 años. Los países de ingresos bajos y medianos ya soportan el 86% de la carga de estas muertes prematuras, lo que resulta en pérdidas económicas" [1]. Estas patologías son el resultado de factores de riesgo conductuales, ambientales, genéticos y fisiológicos. Los estudios clínicos demuestran que la presencia elevada de radicales libres, que superan a las defensas antioxidantes en nuestro organismo, ocasionan desequilibrios bioquímicos, comprometiendo a las células y desencadenando procesos de peroxidación de lípidos, oxidación de moléculas de glucosa, así como diversas mutaciones en el DNA, que están involucradas con las enfermedades crónico-degenerativas. Existen aproximadamente 100 patologías que tiene una asociación con el desequilibrio del sistema oxidativo, entre éstas se encuentran: cáncer, enfermedades respiratorias, gástricas, neurológicas, del sistema endócrino, diabetes, hipertensión arterial y dislipidemias. La dieta puede desempeñar un papel en el manejo y la reducción del riesgo de enfermedades crónico-degenerativas. Una dieta alta en granos integrales es considerada protectora contra las ENT; aunado a esto, la presencia de antioxidantes, atenúan los efectos negativos del estrés oxidante [2,3].

El arroz (*Oryza sativa* L) es un cereal, el cual forma parte de una alimentación básica en diversas culturas tanto latinoamericana como asiática, es consumido por un poco más del cincuenta por ciento de la población mundial, su cultivo comenzó hace aproximadamente 10 000 años. Respecto al área cosechada se encuentra en segundo lugar a nivel mundial, después del trigo. El arroz aporta mayor cantidad de calorías en comparación a otros cereales, existiendo más especies cultivadas en zonas inundadas, semi- sombreadas, bosques de Sur y Centro América, Austria, Sureste Asiático y África del Sur [4].

El contenido de nutrientes presentes en el arroz se encuentra relacionado con la variedad de arroz y grado de pulido, ya que el arroz integral presenta mayor cantidad de derivados de ácido ferúlico en comparación con arroz silvestre, basmati y blanco, incrementándose tres veces más su contenido. El grano de arroz integral contiene antioxidantes de tipo liposolubles, como los fitosteroles en combinación con ácido ferúlico (GAMMA-oryzanol), tocotrienoles y tocoferoles. Los ensayos clínicos demuestran que una alimentación adecuada en la que se incluye arroz integral otorga importantes beneficios a personas con padecimientos de síndrome metabólico, reduciendo el factor de riesgo de presentar o padecer enfermedades cardiovasculares. No obstante, el arroz integral requiere de mayores tiempos de cocción para su preparación, lo que representa una desventaja, debido al ritmo acelerado de la vida actual [5].

En este trabajo se aplicó un proceso de precocción a un arroz integral, para obtener un producto de cocción rápida, se evaluó el efecto del tiempo de precocción sobre la textura y capacidad antioxidante del arroz cocinado.

Metodología

Materiales

Se utilizó como materia prima, arroz integral “La perseverancia”, calidad superior extra, proveniente del Molino San José del Municipio de Jojutla del estado de Morelos. Se utilizaron equipos y materiales generales de laboratorio, así como reactivos de laboratorio grado analítico.

Obtención del arroz integral precocido

Para la obtención de las muestras de arroz precocido, se sometió el arroz integral crudo y lavado a diferentes tiempos de cocción (15, 20, 25, 30, 35 y 40 min), en una olla de presión marca Vinod de 2 L de capacidad. Se pesaron 100 g de muestra y se agregaron 1000 ml de agua para los tiempos 15 a 30 min y 1200 para los tiempos 35 y 40 min. Una vez transcurrido el tiempo, se dejó enfriar por 5 minutos y las muestras se escurrieron en un colador durante 30 minutos. Posteriormente se aplicó un proceso de secado en un secador de convección con flujo de aire forzado (equipo diseñado y fabricado por investigadores del Departamento de Desarrollo Tecnológico de CEPROBI – IPN); a una temperatura de 38 °C, con flujo de aire a velocidad de 0.1 m/s, durante 24 horas. Las muestras fueron almacenadas a temperatura ambiente, en bolsas tipo Ziploc, hasta su posterior tratamiento.

Determinación de humedad en arroz integral precocido

Esta prueba se realizó a los arroces integrales precocidos y secados, para evaluar el contenido de humedad remanente después del proceso de secado en la estufa de convección. Se realizó con el método oficial de la AOAC [6].

Preparación de arroz integral cocinado

Para emular el tratamiento de cocción que daría el consumidor final, a un producto de cocción rápida de este tipo, las muestras de arroz integral precocidas y secadas fueron sometidas a un proceso de cocción a presión atmosférica, se realizó en una estufa doméstica de gas, durante 10 minutos. En una olla se colocaron 280 ml de agua y se encendió la estufa a fuego medio, hasta alcanzar la ebullición, posteriormente se agregaron 70 g del arroz precocido y seco, se bajó la intensidad del fuego, se tapó la olla y se dejó transcurrir el tiempo (10 min), finalmente el fuego se apagó y se dejó reposar por 5 min más; obteniendo así arroces cocinados listos para su consumo.

Determinación del tiempo de precocción óptimo del arroz integral

Para determinar el tiempo de precocción óptimo del arroz integral, se realizó la prueba del portaobjetos propuesta por Cerda-Cova y Vázquez-Chávez (2017) [7], para la evaluación de las características físicas y culinarias de sabor color y textura. Se tomaron seis granos de arroz integral cocinado entre dos portaobjetos y se ejerció presión hasta romper los granos, determinando que los granos adecuadamente cocidos serían aquellos que tuvieran menos del 90% de núcleos blancos, centro opaco o crudo. Los granos se observaron también en un estereoscopio marca Nikon, modelo SMZ1500 (Japón). Se tomaron capturas de las imágenes de cada una de las muestras.

Se realizó un análisis de perfil de textura (TPA), utilizando un analizador de textura marca TA, modelo XT2i (Godalming, England) y la sonda HDP/PFS con una distancia entre las placas de 4.5 mm, usando una celda de carga de 25 kg y una velocidad de prueba de 0.5 mm/s [8].

Se realizó la extracción de compuestos fenólicos extraíbles polares y no polares, y compuestos fenólicos ligados (taninos condensados y taninos hidrolizados) y se determinó su capacidad antioxidante, siguiendo la metodología descrita por Ovando-Martínez (2012) [9], con algunas modificaciones. Estas pruebas se realizaron en las muestras de arroz cocinado y se compararon con las muestras de arroz crudo.

Análisis estadístico

Se realizó una prueba de ANOVA de una varianza a través del programa de software Sigma plot v.14. Se utilizó una prueba de comparaciones múltiples de Tukey para la determinación de diferencias significativas ($p < 0.050$).

Resultados y discusión

Determinación de humedad del arroz integral precocido y secado

El porcentaje de humedad es un componente útil para analizar la calidad en la preservación de productos alimenticios, debido a que afecta su estabilidad durante el almacenamiento. La NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-080-SCFI-2016, "ARROZ DEL ESTADO DE MORELOS establece que el contenido de humedad en el arroz, debe ubicarse entre porcentajes de $13 \% \pm 1\%$ para su conservación, almacenamiento, manejo y procesamiento. La Tabla 1 muestra los contenidos de humedad de los arroces precocidos en olla de presión a diferentes tiempos, y posteriormente secados en una estufa de convección. Se puede observar que, al incrementarse el tiempo de precocción, se reduce el porcentaje de humedad, los valores oscilan entre 5.3 y 7.3 %, intervalo que está por debajo de lo establecido por la norma. El análisis estadístico indica que no existe diferencia significativa entre las muestras de 15 y 20 minutos y entre las muestras de 25 a 40 minutos. Un bajo contenido de humedad en los productos alimenticios evita la proliferación de microorganismos y reacciones de degradación, permitiendo su conservación durante el tiempo de almacenamiento.

Tabla. -1 Determinación de humedad en diversos tiempos de precocción de arroz integral.

Tiempo de precocción (min)	Humedad (%)
15	7.3 ± 0.1^a
20	7.3 ± 0.2^a
25	6.2 ± 0.1^b
30	$6.7 \pm 0.1^{a,b}$
35	$6.7 \pm 0.1^{a,b}$
40	5.3 ± 0.1^b

Valores promedio \pm desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias estadísticas significativas $p < 0.050$.

Prueba del portaobjetos para la determinación del tiempo óptimo de precocción del arroz integral

En la figura 1 se observan los resultados de la prueba del portaobjetos, para las muestras de arroz integral cocinado durante 10 min, previamente sometido al proceso de precocción en olla de presión a diferentes tiempos: 15, 20, 25, 30, 35 y 40 min. En esta prueba se considera que los arroces son aptos para consumo y presentan una cocción adecuada, con características de palatabilidad aptas para consumo, cuando no hay presencia de más del 90% de núcleos blancos [7]. Una vez realizada la prueba de los portaobjetos a los granos de arroz integral de cocción rápida, se analizaron sus características de sabor, color y textura. La Tabla 2 recoge las características organolépticas observadas en cada una de las muestras. La primera muestra con 15 min de precocción presentó granos duros, que difícilmente se rompían por la presión ejercida durante la prueba, de color beige oscuro y sabor almidonoso, con características de palatabilidad no aptas para consumo. A medida que aumentó el tiempo de precocción se observan granos más hinchados, con un color beige más claro y suavidad suficiente para ser completamente aplastados durante la prueba. El sabor a almidón fue disminuyendo a medida que aumentó el tiempo de precocción, conservándose aun ligeramente en la muestra de 35 min. Se puede observar la presencia de núcleos blancos, hasta la muestra de 35 min de precocción, desapareciendo por completo en la muestra de 40 min.

De las muestras analizadas de arroz integral precocido en tiempos de 15, 20, 25, 30, 35 y 40 min, respecto a sus características de color, sabor y textura; comprobamos que únicamente los tiempos de 35 y 40 min. cumplían con características organolépticas aceptables para consumo, descartando, los tiempos de 15, 20, 25 y 30 min, dado que se encontraron granos duros, sabor almidonado, grumos o núcleos blancos.

Los resultados obtenidos de estas pruebas, para el arroz de cocción rápida, permitieron definir tiempos óptimos para el proceso de precocción en olla de presión, ya que, a tiempos de precocción de 35 y 40 min, los granos de arroz integral cocinado, tuvieron nula o escasa presencia de núcleos blancos. La textura del arroz cocinado fue más suave, con características organolépticas de color y sabor, aceptables al paladar que son aptas para consumo.

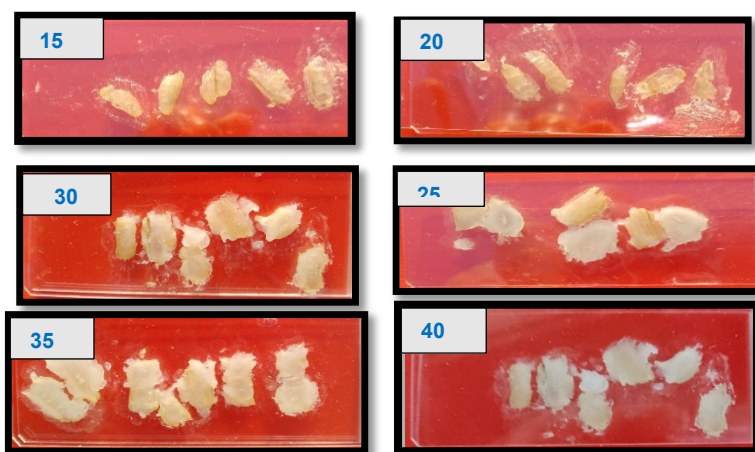


Figura. -1 Efecto del tiempo de precocción (15, 20, 25, 30, 35 y 40 min) sobre las características organolépticas de granos de arroz integral cocinado durante 10 minutos, medidas por la prueba de portaobjetos

Tabla 2.- Características organolépticas de los granos de arroz integral de cocción rápida, respecto al tiempo de precocción de 15, 20, 25, 30, 35 y 40 minutos.

Muestra	Sabor	Color	Textura
15 minutos	Almidón	Beige	Dureza, grumos.
20 minutos	Almidón	Beige	Dureza, grumos
25 minutos	Almidón	Beige	Granos parcialmente suaves, disminución de grumos
30 minutos	Disminuye el sabor a almidón	Beige	Granos parcialmente suaves, se siguen percibiendo grumos
35 minutos	Adquiere su propio sabor, aun perceptible el almidón	Beige	Granos más suaves, escasa sensación de grumos

40 minutos	Sabor a arroz integral	Beige	Granos suaves, sin grumos, apto para consumirse.
------------	------------------------	-------	--

Estereoscopia

Para permitir una mejor observación de los núcleos blancos presentes en las muestras obtenidas en la prueba del portaobjetos, éstas fueron observadas en un microscopio estereoscópico con un aumento de 5x. Las imágenes obtenidas por estereoscopia, se muestran en la figura 2. Se observa que, en los tiempos de precocción de 15, 20, 25 y 30 min se aprecia la escasa presencia de núcleos blancos, indicado con flechas (Figura 2). Estos núcleos se deben a la presencia de gránulos de almidón sin gelatinizar.

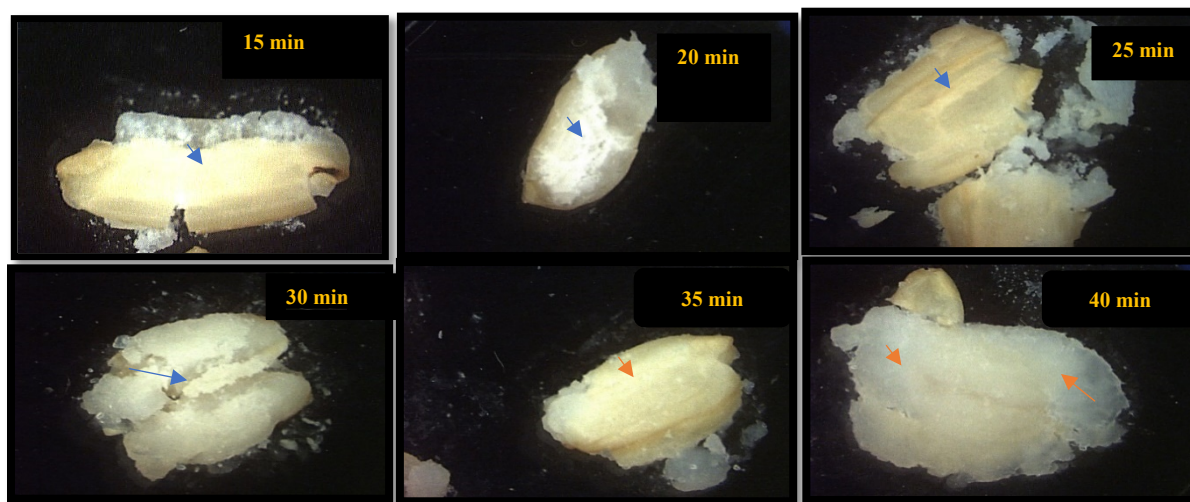


Figura. -2 Muestras de arroz integral de cocción rápida, observadas en estereoscopio con tiempos de pre-cocción de 15, 20, 25, 30, 35 y 40 min. Las flechas en color azul indican núcleos blancos.

Análisis de perfil de textura (TPA)

La Tabla 3 muestra los parámetros de textura de muestras de arroz integral cocinadas durante 10 min, que fueron sometidas a tratamiento previo de precocción en una olla de presión, durante 35 y 40 min. Las muestras fueron comparadas con una muestra de arroz integral precocido comercial marca Verde valle, el cual fue cocinado de acuerdo con las instrucciones del envase.

La dureza de las muestras de arroz disminuyó ligeramente a mayor tiempo de precocción, sin embargo, no hubo diferencia estadísticamente significativa entre las muestras de 35 y 45 min de precocción. La muestra comercial presentó una dureza menor que las muestras obtenidas en este estudio. La cohesividad, que es la dificultad para destrozarse un alimento al ser aplastado por segunda vez, y que representa el porcentaje de las partes internas intactas de la muestra, posterior a la primera compresión [10], no mostró diferencias entre las muestras. Las muestras de arroz de cocción rápida obtenidas en el presente estudio presentaron una mayor adhesividad que la muestra comercial, y este valor fue mayor en la muestra precocida durante 40 min. La adhesividad representa el trabajo requerido para la separación del émbolo del alimento [10], un mayor tiempo de cocción, permitió obtener muestras más suaves, pero más adhesivas, esta característica, podría provocar apelmazamiento del arroz cocinado, característica que no es deseada en los atributos culinarios del arroz. La gomosidad y elasticidad de las muestras no observaron diferencias estadísticamente significativas. La masticabilidad, que es la fuerza requerida para efectuar la masticación del alimento en estado sólido [10], fue mayor para la muestra precocida durante 35 min, seguida de la muestra comercial y finalmente de la muestra precocida durante 40 min; sin embargo, en análisis estadístico, no presentó diferencias significativas.

Podemos observar que, en los tiempos estudiados de precocción, durante el tratamiento de 40 min, se reducen valores de dureza, gomosidad y masticabilidad, lo que puede indicar que es una muestra más suave, pero pegajosa, lo cual podría tener detrimento en sus características culinarias. Mostrando que el tiempo óptimo de precocción, para obtener una muestra apta para consumo, la registró el tiempo de precocción de 35 min. Comparadas con el arroz comercial, las muestras analizadas en el presente estudio fueron más duras y adhesivas.

Tabla. 3 Efecto del tiempo de precocción del arroz integral, sobre la textura.

Muestra	Dureza (N)	Cohesividad	Adhesividad (J)	Gomosidad (N)	Elasticidad	Masticabilidad (N)
35 min	334.7±10.6 ^a	0.5±0.01 ^a	-0.7 ±0.3 ^{ab}	169.4±7.1 ^a	0.5±0.04 ^{a, b}	92.4±10.2 ^a
40 min	331.7±11.4 ^a	0.5±0.01 ^a	-1.3±0.5 ^a	165.1±8 ^a	0.5±0.01 ^a	76.1±2.7 ^a
Comercial integral	282.2±21.2 ^b	0.5±0.02 ^a	0.0 ^b	153.6±5.9 ^a	0.6±0 ^b	80.3±8.9 ^a

Determinación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

En la Tabla 4 se muestran los valores del contenido de compuestos fenólicos extraíbles y de los compuestos fenólicos ligados (taninos condensados e hidrolizados) y su capacidad antioxidante en porcentaje de inhibición, para las muestras de arroz integral crudo, y arroz integral cocinado, sometido previamente a un proceso de precocción en una olla de presión a 35 y 40 min.

Se observa que hay más cantidad de compuestos fenólicos extraíbles y taninos condensados en la muestra de arroz integral crudo, en comparación con las harinas de 35 y 40 min. Estos cambios pueden atribuirse a la temperatura y tiempos de calentamiento utilizados; ya que, las condiciones empleadas en el proceso pueden verse reflejada en la reestructuración a nivel molecular de los compuestos, y provocar la formación de complejos hidrosolubles no deseados [11]. En cuanto a los compuestos hidrolizados, se obtuvo un ligero incremento por efecto del proceso de cocción y cocinado de las muestras. Se ha observado un aumento de fenoles, tras someter harina a un tratamiento térmico, esto puede deberse a que los procesos de calentamiento permiten el rompimiento de las estructuras celulares, a las que se encuentran ligados los compuestos fenólicos, permitiendo su liberación y facilitando la extracción de los mismos [12].

En cuanto a la capacidad antioxidante, se observa una disminución por efecto del tratamiento térmico, en los fenoles extraíbles y los taninos hidrolizables, pero hay un aumento en la capacidad antioxidante de los taninos condensados.

Tabla. -4 Extracción de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del arroz integral crudo y cocinado durante 10 min, sometido previamente a tratamiento de precocción en olla de presión durante 35 y 40 min.

Muestra	Extraíbles (mg/g)	Condensados (mg/g)	Hidrolizados (mg/g)	DPPH -E (%)	DPPH-C (%)	DPPH-H (%)
Arroz crudo	0.36 ±0.062 ^a	2.97±0.076 ^a	0.09±0.04 ^a	24.7±1.39 ^a	80.8±1.08 ^a	71.05±4.22 ^a
35 min	0.24 ±0.091 ^b	0.32±0.021 ^b	1.08±0.11 ^b	5.2±2.7 ^b	89.63±1.78 ^b	69.44±10.4 ^a
40 min	0.24 ±0.060 ^b	1.74±0.45 ^c	1.38±0.15 ^c	6.05±4.4 ^b	91.98±1.59 ^b	48.88±17.15 ^b

Promedios ± desviación estándar. Letras diferentes denotan diferencias significativas $p < 0.050$.

La capacidad antioxidante depende del tipo de materia prima utilizada, así como de los tratamientos aplicados, temperaturas elevadas, exposición ambiental y concentraciones; que influyen disminuyendo o aumentando la capacidad antioxidante [12]. Existe relación entre el tiempo de exposición al tratamiento y la temperatura, cuando estos se incrementan ocurre mayor pérdida de capacidad antioxidante. Algo similar sucedió con los taninos condensados en las muestras estudiadas del arroz integral, obteniéndose un leve incremento en el tratamiento con 40 min de precocción. Los procesos influyen modificando los componentes en el arroz integral, sin embargo, facilitan su disponibilidad, conservando así algunos de sus compuestos bioactivos.

Trabajo a futuro

- Análisis sensorial del arroz integral de cocción rápida, para evaluar la aceptabilidad por el consumidor.
- Estudio del efecto de la precocción sobre el contenido y digestibilidad del almidón.

Conclusiones

El proceso de precocción aplicado al arroz integral la perseverancia en tiempos de 35 y 40 minutos, y posterior secado, permitió la obtención de un producto de cocción rápida, con un porcentaje de humedad que se encuentra en un rango favorable para su almacenamiento de acuerdo con lo establecido en la NOM-080-SCFI-2016, arroz del estado de Morelos. El arroz de cocción rápida que fue cocinado por convección durante 10 minutos, mostró ser un alimento con características aceptables para consumo, mejorado en color, sabor y textura. La cantidad de compuestos polifenólicos presente en el arroz cocinado se reducen, en comparación con el arroz integral crudo, encontrando presentes aún los compuestos extraíbles, taninos condensados y taninos hidrolizados, produciendo en general, una reducción de la capacidad antioxidante.

Agradecimientos

Los autores agradecen los apoyos económicos recibidos por parte de: CONACYT, COFAA y EDI -IPN.

Referencias

1. OMS, "World Health Organization- Global Action Plan for Prevention and Control of Noncommunicable Diseases 2013-2020," 2013, *Disponible en:* <https://www.who.int/publications/i/item/9789241506236>
2. L. Delgado-Olivares, G. Betanzos-Cabrera y M. T. Sumaya-Martínez, "Importancia de los antioxidantes dietarios en la disminución del estrés oxidativo," *Investigación y Ciencia*, vol. 18, no. 50, pp. 10-15, 2010.
3. S.O. Maldonado, V. Jiménez, V. Guapillo, G. Ceballos y E. Mendez, "Radicales libres y su papel en las enfermedades crónico-degenerativas," *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*, vol.10, no. 2, pp. 32-39, 2010.
4. K. R. Bhattacharya and S. Z. Ali, "An introduction to rice-grain technology", 1a.ed., *CRC Press*, India, 2015.
5. M. Justo, "Caracterización de las propiedades funcionales a nivel cardiovascular y del síndrome metabólico de un extracto enzimático de salvado de arroz", *Tesis de Doctorado por la Universidad de Sevilla*, 2014.
6. AOAC,). "Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists", Washington: AOAC, 1990,
7. V. Cerda-Cova y L. Vázquez-Chávez, "Calidad física y culinaria de arroz", *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Vol. 2, pp. 34-40, 2017.
8. E. T. Champagne, B. G. Lyon, B. K. Min, B. T. Vinyard, K. L. Bett, F. E. Barton, B. D. Webb, A. McClung, K. A. Moldenhauer, S. Linscombe, K. S. McKenzie and D. E. Kohlwey, "Effects of Postharvest Processing on Texture Profile Analysis of Cooked Rice", *Cereal Chemistry*, vol. 75, no. 2, pp.181–186, 1998.
9. M. Ovando-Martínez, "Efecto del riego y temporal sobre las propiedades estructurales, fisicoquímicas y digestibilidad del almidón en dos variedades de frijol", *Tesis de doctorado por el CEPROBI – IPN*, 2012.
10. J. D. Torres, K. J. González y D. Acevedo, "Análisis de perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos", *Revista ReCiTeIA Revisiones de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos*, vol.14, no. 2, pp. 63-75, 2014.

11. N. Mesfin, A. Belay and E. Amare, "Effect of germination, roasting, and variety on physicochemical, techno-functional, and antioxidant properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein isolate powder", *Heliyon*, vol. 7, no. 9, pp. e08081, 2021. doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08081
12. O. Beltrán and M. Urcia, "Formulación de una bebida funcional a base de pulpa de aguaymanto (*Phisalis peruviana*) y camu camu (*Myrciaria dubia*) edulcorado con stevia", *Tesis de licenciatura por la Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote*, 2018.

Mucílago de nopal I: extracción y uso como agente de resistencia en seco en papel

J. A. Andrade Ortega^{1*}, H. A. Ortega Meza², C. A. Ramírez Barragán¹, H. J. Contreras Quiñones¹,
y A. Rodríguez Rivas¹

¹Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Carretera a Nogales, Kilómetro 15.5 AP 5293, C.P. 45020, Las Agujas, Zapopan, Jalisco, México.

² Licenciatura en Ingeniería Química, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Blvd. Gral. Marcelino García Barragán 1421, Olímpica, C.P. 44430 Guadalajara, Jal. México.

*jesus.aortega@academicos.udg.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Se extrajo mucílago de cladodios de nopal por escalfado y precipitado en etanol; el rendimiento de mucílago con respecto a las pencas de nopal secas fue de 7.4%, el contenido de cenizas de 7.1%. El mucílago se usó como agente de resistencia en seco para papel (dosificaciones 1%, 3%, 5% y 7%), comparando su efecto con un almidón catiónico (control, a las mismas dosificaciones). Los resultados combinados de resistencia a la tensión y al rasgado, representados por sus respectivos índices, muestran que el mucílago entrecruza las fibras (incrementa el índice de rasgado en 9% con dosificaciones del 7%); sin embargo, no provee resistencia mecánica (no aumenta el índice de tensión). El mucílago de nopal es un biopolímero sustentable prometedor si se incrementa la fuerza reticular del mismo mediante modificación química. Finalmente, el almidón provee resistencia mecánica incrementando el índice de tensión en 7% con dosificaciones del 1 al 5%.

Palabras clave: Mucílago, nopal, aditivo, papel.

Abstract

The extracted of mucilage was made from prickly pear cladodes by poaching and precipitating in ethanol; the mucilage yield with respect to the dry base nopal was 7.4%, and the ash content was 7.1%. The mucilage was used as dry strength agent for paper (dosages 1%, 3%, 5% and 7%), comparing its effect with a cationic starch (control, at the same dosages). The combined results of tensile and tear strength, represented by their respective indices, show that the mucilage crosslinks the fibers (increases the tear index by 9% with 7% dosages); however, it does not provide mechanical resistance (it does not increase the tension index). Nopal mucilage is a promising sustainable biopolymer if its reticular strength is improved by chemical modification. Finally, the starch provides mechanical resistance, increasing the tension index by 7% with dosages of 1 to 5%.

Key words: Mucilage, nopal, additive, paper.

Introducción

Resistencia del papel

El papel es, en esencia, una red entrelazada de fibras de celulosa. La resistencia mecánica de esta red fibrosa depende de la resistencia intrínseca de la fibra (materia prima), de la cantidad de enlaces formados entre fibras y la resistencia de los mismos, atribuida básicamente a puentes de hidrógeno. Dos ejemplos de evaluación mecánica del papel son la resistencia a la tensión, cuyos valores permiten identificar la fuerza que aportan los enlaces entre fibras y la resistencia al rasgado que, permite evaluar, principalmente, el trabajo necesario para separar la fibra del resto de las fibras sin cortarla, es decir, que tan entrelazada está la fibra a la red [1].

Una manera de aumentar el número de enlaces entre fibras y la fuerza de los mismos, es a través de la llamada refinación. Es un proceso mediante el cual se aplica energía mecánica a la fibra de celulosa para generar

microfibrillas en la superficie; además, este procedimiento permite flexibilizar la fibra para ayudar a la conformación de la red fibrosa, de tal forma que al existir un mayor número de enlaces entre fibras se incrementa la resistencia mecánica del papel. El proceso de refinación tiene como limitante que, si se excede la cantidad de energía aplicada a las fibras, esto es, un tiempo de refinación excesivo, la fibra se acorta y entonces las resistencias disminuyen [2].

En la actualidad, al papel se le incorpora una serie de aditivos como lo son cargas minerales, polímeros naturales y sintéticos, blanqueadores ópticos, etc. La función de algunos polímeros empleados es conferirle al papel resistencia mecánica. Estos polímeros se pueden reclasificar como los que proveen resistencia en húmedo y los que lo hacen en seco; los primeros son principalmente polímeros sintéticos como las poliácridamidas (PAM), el anhídrido de alquil succínico (ASA), el dímero de alquil ceteno (AKD), etc. y los segundos son biopolímeros (gomas, almidones y resinas) naturales y/o modificados [3].

Las tendencias actuales en cuanto al uso de polímeros en la industria del papel, están orientadas al empleo de biopolímeros sustentables, ambientalmente amigables, biodegradables, de bajo costo, fácilmente manejables, preferentemente obtenidos con un mínimo de tratamiento o modificados bajo el concepto de química verde [4]. Ejemplos de ello es el empleo de mucílagos como la carragenina que es un mucílago obtenido de las algas rojas [5], el mucílago de la hoja de *Abroma augustum* [6] y el mucílago extraído de la Karaya, también llamado goma de Karaya [7]. En México se cuenta con una planta ancestral distribuida por todo el país, el nopal [8], de la cual se podría extraer un mucílago como los ya mencionados.

El nopal y el Mucílago de nopal

Nopal o tuna es el nombre que reciben las plantas pertenecientes al género *Opuntia*, el cual tiene alrededor de 377 especies con una relevancia reconocida, son de porte arbustivo o rastrero, tienen tallos planos suculentos llamados cladodios o comúnmente pencas [9], generalmente presentan espinas y sus frutos son ovoides de diversos colores [10].

Los cladodios presentan una capa cerosa en la epidermis que previene la pérdida de agua por evaporación, repele el agua exterior y refleja radiación solar reduciendo la temperatura de la planta; en la parte interna tiene una capa de células con cloroplastos y otra casi incolora con la función de retención de agua, en esta parte se encuentra el mucílago, gracias al cual puede retener alrededor de un 90% de humedad [10].

La fotosíntesis de los nopales se lleva a cabo en los cladodios supliendo a las hojas que en otras plantas realizan esta función. Se lleva a cabo mediante el metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM por sus siglas en inglés), el cual permite una menor pérdida de agua en comparación a otros tipos de metabolismo, ya que la apertura de estomas para la fijación de CO₂ se lleva a cabo durante la noche cuando la temperatura es menor y la humedad más alta; al llevarse a cabo esta fijación, produce una acidificación en la vacuola por la producción de ácido málico, y durante la fase luminosa se produce una acumulación de carbohidratos [11].

El mucílago de nopal es un biopolímero compuesto principalmente por polisacáridos (hemicelulosas), el cual tiene entre sus componentes L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-Xilosa y ácido galacturónico; de acuerdo a diversos estudios, la composición química de este puede variar según la especie y el desarrollo de la planta, dependiendo del lugar y condiciones climatológicas. Se han estudiado diversos métodos de extracción de mucílago que cambian respecto a la parte del nopal que se utiliza o sus fines [12].

En las pencas del nopal hay una cantidad considerable de minerales, sobre todo calcio, el cual aumenta con la edad del cladodio. Debido a la presencia de ácido galacturónico en el mucílago de nopal, este presenta una fuerte carga negativa, por la cual existe un intercambio de iones Ca⁺⁺; esto hace que alrededor de un 2% de calcio se encuentre unido al mucílago, por lo que presenta una cantidad considerable de cenizas al ser extraído [10].

Se ha estudiado el uso del mucílago para propósitos variados en los últimos años, debido a sus características, ya que puede formar películas [13], actúa como estabilizante en mermeladas [14], se emplea en tratamiento de aguas [15] y varios estudios más, donde se puede apreciar la gran cantidad de opciones de uso en la industria [16].

El objetivo de este trabajo es la extracción y precipitación de mucílago de nopal y su empleo como un aditivo para conferir resistencia en seco al papel basado en las características que presenta este biopolímero de formar películas y actuar como aglutinante.

Metodología

Materiales

Los materiales utilizados fueron:

- Nopal (*Opuntia ficus-indica*), cladodios con un promedio de 20 días de edad obtenidos de un invernadero ubicado en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara; coordenadas: 20° 44' 52.8" N, 103° 30' 51,6" O.
- Fibra kraft, blanqueada de pino provista por Essity S.A de C.V. San Nicolás de los Garza, Nuevo León.
- Alcohol Etílico de caña 96° G.L. comprado a Alcoholera de Zapopan, S.A. de C.V.
- Acetona de la marca Golden Bell.
- Almidón catiónico de la marca Tate & Lyle (lote SH3L0682A)
- Equipos y laboratorios del Departamento de Madera Celulosa y Papel (DMCyP) de la Universidad de Guadalajara.

Procedimientos

Curva de refinación de la fibra

Con la fibra kraft se realizó una curva de refinación en un equipo Jokro de acuerdo a la técnica ISO 5264/3 [17]. Los tiempos del tratamiento mecánico fueron de 0, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos; la fibra resultante de cada tiempo fue procesada de acuerdo a la técnica TAPPI T205 sp-18 [18] para elaborar hojas con un gramaje promedio de 60 g/m² en el formador estándar TAPPI.

De las hojas obtenidas se cortaron las probetas necesarias y ensayaron según la norma T404 om-92 [19] para la resistencia a la tensión en el equipo Karl-Frank (tipo péndulo). Con los datos obtenidos se construyó una curva de refinación para determinar el tiempo de tratamiento mecánico que aportará la mejor resistencia a la tensión.

Extracción del mucílago de nopal

Las pencas jóvenes de nopal fueron peladas y troceadas; se tomaron muestras para la determinación de humedad (en estufa a 100°C por 24 horas), el cálculo se realizó mediante la ecuación (1).

$$\text{Humedad} = \frac{M - M_s}{M} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

Humedad: Agua presente en el material expresada en porcentaje masa

M = Masa húmeda

M_s = Masa seca (en estufa)

La cantidad de 1000 g de nopal base húmeda troceado y sin cutícula se escalfaron de acuerdo a la técnica mencionada por Monroy y Salgado [15] con algunas modificaciones en tiempo y temperatura. Los trozos de nopal se colocaron en agua destilada (relación 1:2, g/mL) a 40°C durante 90 minutos. Luego, los trozos de nopal fueron filtrados en tela, el líquido del escalfado libre de nopal se mezcló con el doble de su volumen de alcohol para precipitar el mucílago; el cual se separó, y posteriormente secó con ayuda de acetona y estufa a vacío a 50°C por 24 horas. Finalmente, se pesó para evaluar el rendimiento mediante la ecuación (2).

En una muestra de mucílago ya seco se determinó el contenido de ceniza usando una mufla a 800°C durante 4 horas; el cálculo se realizó mediante la ecuación (3).

$$\text{Rendimiento} = \frac{Mms}{Mns} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

Rendimiento: Mucílago presente en la cantidad de nopal seco utilizado para la extracción, expresado en porcentaje masa

Mms = Masa de mucílago seco extraído

Mns = Masa de nopal seco, calculado con el dato obtenido de humedad presente en el nopal

$$\text{Ceniza} = \frac{CM}{Ms} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

Ceniza: Material mineral presente en el mucílago expresado en porcentaje masa

CM = Masa de cenizas de mucílago

Mms = Masa de Mucílago seco (en estufa de vacío).

Preparación de los aditivos para las fibras

Almidón catiónico. El almidón catiónico fue disuelto en 100 mL agua destilada y curado a 80°C por 20 minutos. Se prepararon soluciones de almidón a concentraciones de 0.12 g, 0.36 g 0.6 g y 0.84 g de almidón por cada 100 mL de agua (esto equivale a soluciones de 1%, 3%, 5% y 7% de almidón con respecto a la cantidad de fibra seca en las hojas elaboradas).

Mucílago de nopal. El precipitado seco de mucílago fue disuelto en agua a las mismas concentraciones a las que se preparó el almidón y curado de la misma forma.

Aplicación de los aditivos. Fibra refinada (12 g base seca), elegida según los datos de la curva de refinación se mezcló con el aditivo (almidón catiónico o mucílago) durante 10 minutos en un homogeneizador

Formación y evaluación de la hoja de papel

Después de los 10 minutos en el homogeneizador, se procedió a la elaboración de hojas en el formador estándar TAPPI (T205 sp-18 [18]); las hojas obtenidas se dejaron secar a temperatura ambiente.

Las hojas fueron evaluadas en cuanto al gramaje [20], se cortaron las probetas necesarias para realizar las determinaciones de resistencia a la tensión y rasgado de acuerdo a las técnicas TAPPI T404 om-92 [19] y T414 om-12 [21] respectivamente.

Resultados

Curva de refinación de la fibra

Una curva de refinación normalmente se construye evaluando una propiedad de resistencia mecánica (en este caso el índice de tensión) de la hoja de papel con respecto al tiempo de refinación.

En la figura 1 se muestra la curva en mención, se puede apreciar que el valor máximo de índice de tensión se alcanza a los 30 minutos; sin embargo, para fines prácticos, el tiempo de 20 minutos de refinación parece ser conveniente por dos razones:

Primera, la diferencia en resistencia es solo 10% menor con respecto al tiempo de 30 minutos.

Segunda, se compromete menos la integridad de la fibra ya que recibe menos tiempo de tratamiento mecánico. La afectación de la integridad de la fibra es evidente después de los 30 minutos de refinación ya que el índice de tensión comienza a declinar.

Debido a lo anterior, se trabajó con una fibra refinada por 20 minutos.

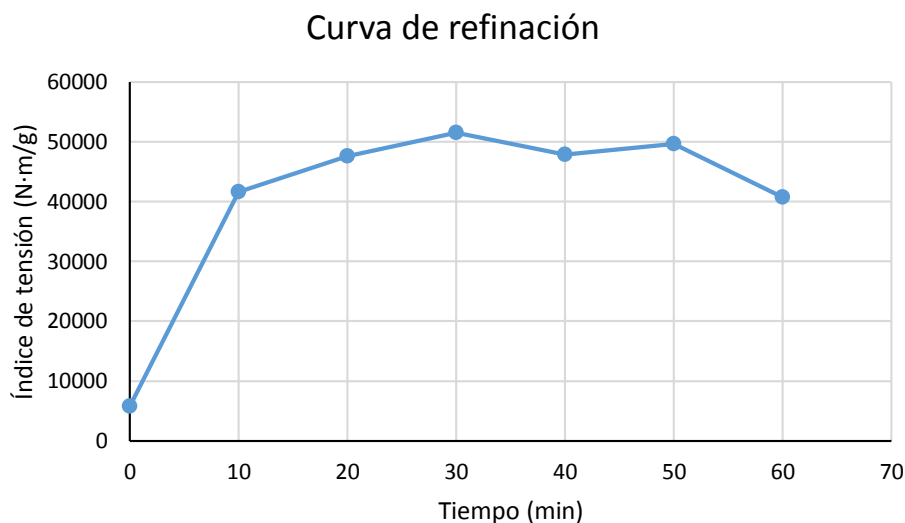


Figura 1. Curva de refinación de la fibra kraft.

Proceso de extracción del mucílago

En cuanto al nopal y proceso de extracción, precipitación y secado del mucílago, los datos colectados de tres repeticiones se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados del nopal y extracción de mucílago

Nopal	
Contenido de humedad, %	95% ± 1%
Mucílago	
Rendimiento, %	7.4% ± 2%
Cenizas, %	7.1% ± 1%

Los valores de contenido de humedad y la cantidad de mucílago precipitado que se obtuvieron se ubican entre los valores promedio reportados por otros autores los cuales también mencionan que el contenido de mucílago puede variar de manera importante atribuyéndolo a las condiciones ambientales de las zonas donde la planta crece [12].

En base a los resultados de la tabla 1, se establece que para obtener un poco más de 1.0 g de mucílago precipitado se requieren procesar 300 g de cladodios de nopal base húmeda y sin epidermis.

El contenido de ceniza (7.1% ± 1%) es menor que el reportado por otros autores que es del 10% [10] y [22]; este resultado es favorable, ya que un mucílago con un menor contenido de cenizas se considera menos contaminado. La variación en la concentración de minerales expresado por el contenido de cenizas puede deberse a diferencias

de edad de los cladodios [13], sin embargo, el factor de mayor influencia en este aspecto, es el suelo donde crece la planta [12].

Elaboración y evaluación de las hojas de papel

Gramaje

Los gramajes (masa de fibra por unidad de área) en los lotes de hojas elaboradas fueron en promedio de 60 g/m²; solo tres lotes de nueve dieron un gramaje ligeramente diferente, estas variaciones no comprometen los resultados (60 g/m²±1.7%, cuatro repeticiones por lote).

Resistencia a la tensión.

Para una hoja elaborada con el mismo tipo de fibra y el mismo tratamiento de refinación, el valor del índice de tensión determina, principalmente, la fuerza que aportan los enlaces entre fibras. De tal manera, que la incorporación de un aditivo para incrementar la resistencia mecánica de la red fibrosa puede ser evaluado.

En la figura 2 se han graficado los resultados del índice de tensión para las diferentes concentraciones de aditivos aplicados a las fibras (8 repeticiones por determinación); se emplea el índice de tensión para eliminar el posible sesgo que introduce el gramaje (la cantidad de masa de fibra involucrada) de tal manera que todos los valores sean homologados.

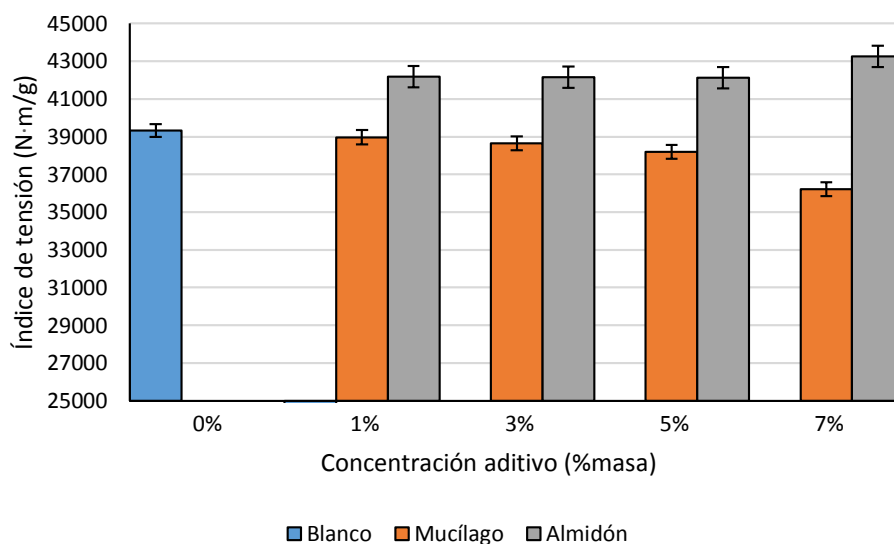


Figura 2. Efecto de los aditivos sobre el índice de tensión.

En la figura 2 se observa como las cargas de entre 1% y 5 % de almidón catiónico incrementan el valor del índice de tensión en un 7% con respecto a la fibra refinada sin aditivo y se eleva hasta en 10% con una carga del 7% de almidón. En este punto los resultados indican que el almidón catiónico proporciona entrecruzamiento que incrementa la resistencia mecánica expresada por el índice de tensión.

En el caso del mucílago, sorprendentemente, se observa que el índice de tensión baja conforme se incrementa la cantidad de este biopolímero en las fibras. Con disminuciones del orden del 1% al 3% para cargas de 1% a 5% de mucílago y hasta 8% cuando se emplea el 7% de mucílago.

Esta tendencia sería un indicio de que el mucílago se asocia a las fibras de celulosa reemplazando los puntos de enlace fibra-fibra generados por la refinación (fibrillas y puentes de hidrógeno); formado una red entrecruzada de

naturaleza propia de este hidrocoloide estructurado principalmente de pectinas, hemicelulosas y calcio, que no aporta resistencia mecánica (enlaces por puentes de hidrógeno) entre las fibras [16].

Un aspecto interesante a tomar en cuenta es que el mucílago de nopal tiene un alto contenido de ceniza (7.1%), predominantemente calcio; se sabe que las cargas minerales tienen un efecto contraproducente en cuanto a las resistencias mecánicas del papel, principalmente la tensión [23].

Resistencia al rasgado

Considerando que se tiene el mismo tipo de fibra y mismo tratamiento de refinación, entonces el valor de índice de rasgado es más representativo de la cantidad de enlaces entre fibras en el papel, pero no de la resistencia de estos enlaces. En la figura 3 se muestra la gráfica del valor del índice de rasgado (se emplea el índice de rasgado debido a lo mencionado anteriormente) con respecto a los aditivos usados y sus concentraciones (se realizaron cuatro repeticiones para cada determinación).

En esta figura se aprecia como el almidón catiónico a concentraciones del 1% y 3% disminuyen el valor de índice de rasgado en 18.5% en promedio (los valores de índice de rasgado caen de 10.5 a 8.5 N·m²/kg). Esta tendencia se corresponde con la pérdida de entrelazado, lo cual parece contradecir los resultados previos del índice de tensión, pero no hay tal controversia, como se explica más adelante.

A partir de cargas de almidón del 5% el valor del índice de rasgado se recupera a valores similares al blanco (fibra sin aditivo), mientras que a 7% de almidón se incrementa el valor en apenas 2%. El comportamiento observado indica que a concentraciones de 1% a 3% el almidón reduce la cantidad de enlaces y que a concentraciones mayores (5% y 7%) iguala la cantidad de enlaces.

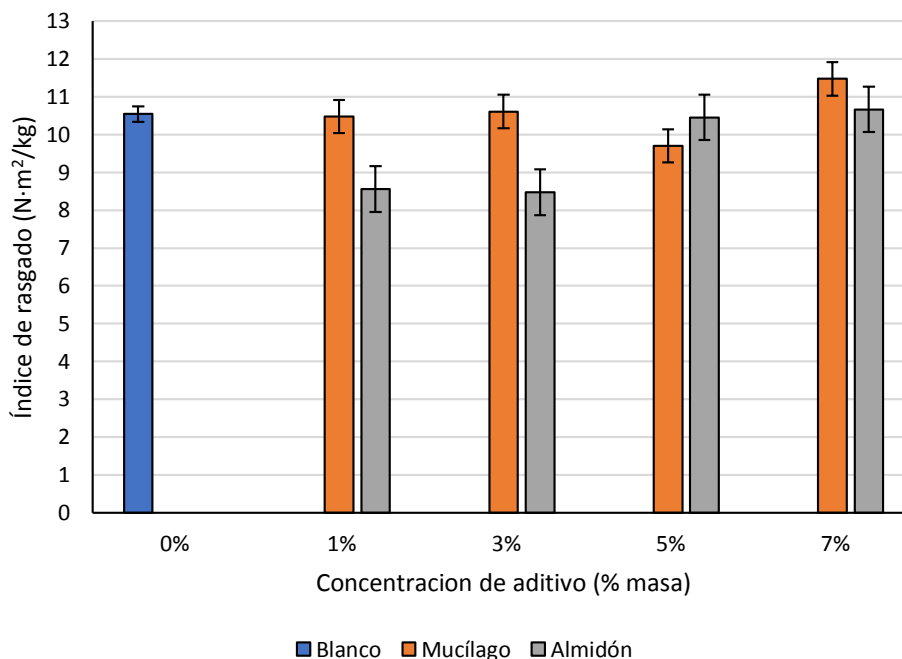


Figura 3. Efecto de los aditivos sobre el índice de rasgado.

El comportamiento del mucílago de nopal como aditivo en cuanto al índice de rasgado es muy peculiar. Se observa que a concentraciones de 1% y 3% de mucílago, prácticamente no se afecta el entrelazado de la fibra refinada; es decir, el mucílago está asociado a la fibra igualando el área microfibrilar enlazada originalmente. A un 5% de dosificación de mucílago, el índice de rasgado cae un 8% (los valores de índice de rasgado caen de 10.5 a 9.7 N·m²/kg), esto es, se afecta el entrelazado de fibras. Y cuando se incrementa la dosificación de mucílago hasta 7%, el valor de índice de rasgado aumenta hasta 9.2% por arriba del blanco (11.5 N·m²/kg), es decir, el entrelazado aumenta.

Esta parte de la experimentación prueba que efectivamente el mucílago de nopal se asocia a las fibras de celulosa y a concentraciones de 7% este aditivo mejora el entrecruzamiento o incrementa el área de enlace microfibrilar funcionando como aglutinante.

Comentarios finales

Conjuntando los resultados de resistencia mecánica, tanto del índice de tensión como el índice de rasgado y auxiliados de la figura 4 (a, b, c y d) se explica de forma más clara los fenómenos observados. La figura 4 (a) esquematiza los puntos de enlace interfibrilar de fibras de celulosa sin refinar.

Luego, en la figura 4(b) tenemos al mismo grupo de fibras, pero ahora refinadas, el tratamiento mecánico generó fibrillas en la superficie de las fibras aumentando el área de enlace fibra-fibra (número de enlaces) lo que también aumenta el índice de tensión (este comportamiento ya fue ilustrado en la curva de refinación).

La figura 4(c) ilustra las fibras de celulosa refinadas y antes de formar la hoja de fibra se les añadió almidón, se generan pocos enlace debido a este aditivo por lo que baja el índice de rasgado en 18.5% en promedio a concentraciones entre 1% y 3%, pero los enlaces formados, a partir de concentraciones del 1% (con respecto a la materia seca), aumenta el índice de tensión en un 7%.

En el caso en el que se adicionó el mucílago de nopal previo a la formación de hojas, que se ilustra en la figura 4 (d), se muestra una interacción de este aditivo con las fibras, generando enlaces o sustituyendo los que ya existían, esto es respaldado por que los valores de índice de rasgado al menos se mantienen sin cambio, es decir, funciona como un aglutinante a partir de 7% de dosificación; sin embargo, este entrelazado no provee resistencia mecánica (el índice de tensión baja).

La razón por la que los enlaces formados por el almidón catiónico son resistentes se debe a la estructura de este aditivo que es similar a la de las fibras de celulosa y forma puentes de hidrógeno ya que el almidón es una mezcla de amilosa y amilopectina (esquemática en la figura 5)

El mucílago de nopal tiene una estructura de naturaleza hidrocoloide, es decir, es una matriz compuesta de pectinas, hemicelulosas y calcio, que no promueve la formación de puentes de hidrógeno entre fibras (figura 6).

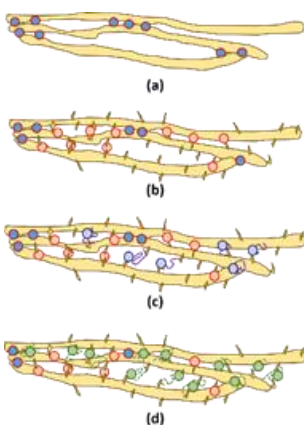


Figura 4. Esquema de los puntos de enlace interfibrilar

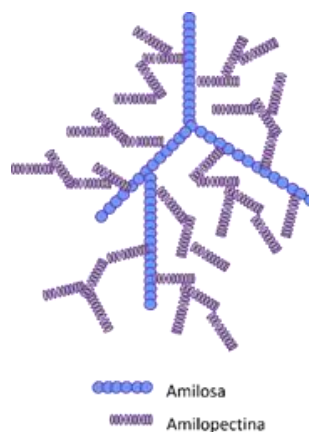


Figura 5. Esquema de la estructura del almidón catiónico

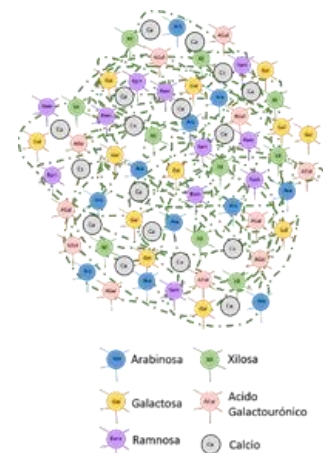


Figura 6. Esquema de la estructura del mucílago

Trabajo a futuro

- Se planea realizar un tratamiento en el mucílago precipitado para eliminar el calcio y otros minerales presentes en el mismo para aplicar el material resultante como aditivo de resistencia en seco para el papel.
- Se pretende emplear el líquido obtenido después del escalfado de los cladodios de nopal como aditivo en la fabricación del papel.
- Se empleará la adición de sulfato de aluminio sobre las fibras de celulosa con la intención de promover puntos de enlace entre estas y los aditivos (almidón catiónico y mucílago de nopal).
- Se contempla realizar mezcla de mucílago con almidón catiónico como aditivo de resistencia en seco para el papel.
- Se planea modificar el mucílago de nopal mediante estrategias de química verde a fin de generar un aditivo sustentable de resistencia en seco para el papel.

Conclusiones

El mucílago obtenido a partir de cladodios de nopal, precipitado en etanol, tiene un rendimiento del 7.4%, que puede considerarse que está en el promedio bajo con un contenido de ceniza del 7.1%; la ceniza, en este caso se constituye como un contaminante para el mucílago. Cuando este mucílago se usa como aditivo de resistencia en seco, los valores de índice de rasgado para el papel muestran que existe una interacción de este material con las fibras. El mucílago tiene una naturaleza hidrocoloide, pues se trata de una matriz compuesta de pectinas, hemicelulosas y calcio, por lo que funciona como un aglutinante, incrementando el entrelazado entre fibras a partir de una dosificación del 7%.

Sin embargo, este entrelazado no provee resistencia mecánica, tal como ocurre en aditivos convencionales. Por lo tanto, el mucílago de nopal, al igual que otros biopolímeros, necesita ser modificado, de preferencia con métodos y técnicas de la química verde a fin de dotarle de las funciones que lo hagan viable para la aplicación deseada. Un aspecto que debe ser considerado es la cantidad tan alta de cenizas, por lo que sería deseable darle un tratamiento para eliminar el calcio y otros minerales.

Los aditivos de resistencia en seco convencionales, como el almidón catiónico, proporcionan resistencia mecánica, pero tienen la desventaja de no incrementar el entrecruzamiento de las fibras. Por este motivo, se tiene contemplado investigar las propiedades de una mezcla de mucílago con almidón catiónico.

Referencias

- [1] M. Zhao, L. Robertsén, L. Wågberg and T. Pettersson, "Adsorption of paper strength additives to hardwood fibres with different surface charges and their effect on paper strength," *Cellulose* 29, pp. 2617–2632, 2022.
- [2] P. Bajpai, "Chapter 1 -Refining and Pulp Characterization" en *Biermann's Handbook of Pulp and Paper* (Third Edition), Volume 2: Paper and Board Making. 50 Hampshire Street, 5th Floor, Cambridge, MA 02139, United States: Elsevier, 2018, pp. 1-34.
- [3] P. Bajpai, "Chapter 10 - Papermaking Chemistry" en *Biermann's Handbook of Pulp and Paper* (Third Edition), Volume 2: Paper and Board Making. 50 Hampshire Street, 5th Floor, Cambridge, MA 02139, United States: Elsevier, 2018, pp. 207-236.
- [4] G. Z. Papageorgiou, "Thinking Green: Sustainable Polymers from Renewable Resources," *Polymers*, 10, 952, pp. 2-5, 2018.
- [5] Liu Z, Li X, Xie W, "Carrageenan as a dry strength additive for papermaking". *PLoS ONE* 12(2): Mar., 2017 e0171326. doi: 10.1371/journal.pone.0171326 PMID: 28170422.
- [6] P. Sunitha, N. Sathyanarayana, A. U. Sanker, Balasundaram, F. Stanley, R. Sobana, N. Srilahari, "Isolation and characterization of mucilage obtained from *Abroma augustum* leaf" *International Journal of Research and Review*, Vol.7; Issue: 5, pp. 54-58, 2020.

- [7] L. G. Solano-Doblado, L. Alamilla-Beltrán y C. Jiménez-Martínez, "Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados," *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 21(Supl. 2), pp. 30-42, 2018.
- [8] M. J. Ochoa y G. Barbera, "capítulo 1 Historia e importancia agroecológica y económica" en *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*. Segunda Edición. Rome, Italy: FAO, 2018, pp. 1-11.
- [9] C. Ramírez-Serrano, "Opuntia género americano, su cultura pre-hispánica, innovaciones desarrolladas y la propiedad intelectual en su entorno", en "Opuntia: aportaciones a su conocimiento y aprovechamiento". México, Universidad de Guadalajara, 2021, pp. 114–121.
- [10] L. Prat, N. Franck y F. Sudzuki, "capítulo 3 Morfología y anatomía de las *Platyopuntias*" en *Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal*. Segunda Edición. Rome, Italy: FAO, 2018, pp. 21-28.
- [11] V. Melero Meraz, J. A. Zegbe Domínguez, M. G. Campos Fajardo, "Cambios en la concentración de ácido málico en tejido fotosintético de nopal tunero en condiciones de riego y temporal", en XVII Congreso Nacional y V Congreso Internacional sobre Recursos Bióticos de Zonas Áridas, Lugar de celebración, 27 y 28 de octubre de 2021.
- [12] F. González-Rodríguez, D.A. Chávez-Polanco, S. González-de la Torre, M. González-Govea, E.A. Suárez-Medina, J.R. Soltero-Sánchez, E. Castañeda-Aguirre, N.A. Trejo-Perea y J.J. Luna-Díaz, "Determinación del valor bromatológico y contenido de mucílago en el nopal (*Opuntia* spp.) de cerro y de invernadero, del estado de Michoacán", *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Vol. 5, pp.184-188, 2020.
- [13] D. R. Olicón Hernández, Á. Acosta Sánchez, R. Monterrubio López y G. Guerra Sánchez, "Chitosan and *Opuntia ficus-indica* mucilage as the base of a polymeric edible film for the protection of tomatoes against *Rhizopus stolonifer*", *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, volumen 22, pp. 1-9, diciembre, 2019.
- [14] G. G. Solís Castillo, I. M. Cocom Medina, C. C. Prado Palomo, "Conservador de frutas y verduras a base de mucílago de nopal y flamboyán", *Ciencia Administrativa, Número Especial*, pp. 70-79, 2018.
- [15] A. S. Monroy Galicia y J. D. Salgado López, "Extracción de mucílago de *Opuntia ficus-indica*, Nopal, como potencial purificador de agua en comunidades rurales de Ahuachapán", *Revista BIOMA*, año 5, número 52, pp. 65-69, 2019.
- [16] M.A. Razavi Seyed "Chapter 17. "Opuntia ficus-indica Mucilage" en *Emerging Natural Hydrocolloids (Rheology and Functions)*". John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, USA: Wiley, 2019, pp. 425–449.
- [17] Pulps — Laboratory beating — Part 3: Jokro mill method, the International Organization for Standardization (ISO), ISO 5264-3:1979.
- [18] Forming handsheets for physical tests of pulp, Technical Association of Pulp and Paper Industries (TAPPI), T205 sp-18, 2006.
- [19] Tensile Breaking Strength and Elongation of Paper and Paperboard (Using Pendulum-Type Tester), Technical Association of Pulp and Paper Industries (TAPPI), T404 om-92, 1992.
- [20] Grammage of paper and paperboard (weight per unit area), Technical Association of Pulp and Paper Industries (TAPPI), T410 om-19, 2019.
- [21] Internal Tearing Resistance of Paper (Elmendorf-Type Method), Technical Association of Pulp and Paper Industries (TAPPI), T414 om-12, 2014.
- [22] J. J. Vargas Mamani, G. V. Vera Vargas y N. A. Suppé Tejada, "Caracterización físico-química, microscópica de barrido y dispersión de rayos x del mucílago de cladodios de *Opuntia ficus indica* en la región alta de Tacna", *Rev. Soc. Quím. Perú*, volumen 85, número 3, septiembre, 2019.
- [23] H. Mousavipazhouh, M. Azadfallah, I. R. Jouybari, "Encapsulation of precipitated calcium carbonate fillers using carboxymethyl cellulose /polyaluminium chloride: preparation and its influence on mechanical and optical properties of paper", *Maderas. Ciencia y tecnología* 20(4), pp. 703 - 714, oct. 2018.

Determinación experimental del coeficiente de transferencia de oxígeno (k_{La}) en un fermentador batch

Leticia López-Zamora^{1*}, María Guadalupe Aguilar-Uscanga², Rosalía Cerecero-Enríquez¹,
Sandra Carrera-Varela¹,

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba. Departamento de Posgrado e Investigación, Av. Oriente 9 No. 852, Colonia Emiliano Zapata C.P. 94320, Orizaba, Veracruz, México.

²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz. Unidad de Investigación y Desarrollo en Alimentos, Miguel Ángel de Quevedo 2779, Formando Hogar, Veracruz, Ver. 91897, México

*leticia.lz@orizaba.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El xilitol ($C_5H_{12}O_5$) es un polialcohol de cinco carbonos que se produce mediante procesos biotecnológicos. La xilosa se produce a partir de biomasa de desechos agrícolas mediante hidrólisis ácida y enzimática, y puede convertirse principalmente en xilitol por las levaduras del género *Candida*. El xilitol tiene aplicación para las industrias alimentaria y farmacéutica. El objetivo de este trabajo fue realizar la caracterización del coeficiente de transferencia de oxígeno (k_{La}) en un biorreactor Applikon My-control con una capacidad de 3 L, se realizaron 9 experimentos evaluando agitación (100, 200, 300 rpm) y tasa de aireación (0.1, 0.5, 1 vvm) en 1 L de medio sintético y a partir de los resultados obtenidos, se determinó la velocidad de transferencia de oxígeno (OTR). El cálculo de los k_{La} va de 2.16 a 18 h^{-1} , el aumento en los valores de k_{La} ocurrieron cuando la velocidad de agitación y la tasa de aireación aumentaron

Palabras clave: Transferencia de oxígeno, bioreactor, agitación, xilitol

Abstract

Xylitol ($C_5H_{12}O_5$) is a five-carbon polyol that is produced by biotechnological processes. Xylose is produced from agricultural waste biomass by acid and enzymatic hydrolysis, and can be converted primarily to xylitol by yeasts of the genus *Candida*. Xylitol has applications for the food and pharmaceutical industries. The objective of this work was to characterize the oxygen transfer coefficient (k_{La}) in an Applikon My-control bioreactor with a capacity of 3 L, 9 experiments were carried out evaluating agitation (100, 200, 300 rpm) and aeration rate (0.1, 0.5, 1 vvm) in 1 L of synthetic medium and from the results obtained, the oxygen transfer rate (OTR) was determined. The calculation of the k_{La} goes from 2.16 to 18 h^{-1} , the increase in the k_{La} values occurred when the agitation speed and the aeration rate increased.

Key words: Oxygen transfer, bioreactor, agitation, xylitol

Introducción

La fermentación es un proceso biológico mediante el cual algunos polímeros, azúcares monoméricos o aminoácidos se rompen en sustancias de menor peso molecular tales como los ácidos orgánicos y solventes neutros como el etanol, la fermentación puede llevarse a cabo mediante gran variedad de microorganismos como bacterias, levaduras y hongos; por tanto la fermentación es una bioconversión [1].

Las levaduras *Cándida spp* fueron consideradas como las mejores candidatas para la ingeniería metabólica que puedan ofrecer con respecto a otras levaduras como la cepa recombinante *Saccharomyces cerevisiae*, debido a sus características naturales de consumir D-xilosa y mantener el equilibrio de óxido-reducción en la acumulación de D-xilitol. Sin embargo, su aplicación se limitaba en la industria alimentaria debido a la naturaleza patógena oportunista que presentan algunas especies de *Cándida spp* [2].

El principal objetivo de producir xilitol por la vía fermentativa, es reducir costos de producción utilizando como fuente de carbono y energía los azúcares presentes en medios hemicelulósicos contenidos en los desechos agroindustriales. El uso de microorganismos modificados genéticamente para la producción de xilitol no ha mostrado resultados competitivos comparados con las levaduras que de forma natural poseen un sistema metabólico para consumir los azúcares de estos medios hidrolizados [1].

El xilitol se ha producido ampliamente utilizando células libres en lote, continuo o procesos por lotes que utilizan medios sintéticos o hidrolizados obtenidos de diferentes residuos agroindustriales utilizando levaduras inmovilizadas en diferentes soportes. Varios factores pueden influir en el crecimiento microbiano y para optimizar estos, las condiciones deben ajustarse de acuerdo con la especificidad de cada microorganismo. Los más estudiados son los factores en el crecimiento microbiano que muestran cierta influencia en los bioprocesos, los cuales son la temperatura, el pH, la tasa de aireación, la concentración de inóculo y nutrientes (fuentes de carbono, nitrógeno y vitaminas, etc.). El control adecuado de estas variables es de gran importancia para un buen desempeño en la obtención de productos de alta calidad con alta eficiencia. Se han realizado muchos estudios sobre las condiciones ambientales óptimas para el crecimiento de levaduras dirigidas a la producción biotecnológica de xilitol [3].

La aireación es considerada como un factor importante en la producción experimental de xilitol, y la cantidad de oxígeno disponible es uno de los factores determinantes por los cuales se deriva la vía de la xilosa, la fermentación o respiración, que a su vez regula el equilibrio del consumo de carbono tanto para el crecimiento como para la bioconversión. Es evidente que las levaduras requieren poca oxigenación en el medio de cultivo para la reducción de d-xilosa y tienen tasas específicas para cada especie [4].

En el biorreactor, la transferencia de oxígeno está afectada por diferentes factores que intervienen sobre la hidrodinámica de éste, como las propiedades físicas tanto del medio de cultivo como del gas utilizado para aportar el oxígeno, los parámetros geométricos del biorreactor, las condiciones de operación a las que se desarrolla el proceso y el tipo de microorganismo cultivado [5].

Para usar y metabolizar la D-xilosa, debe convertirse en xilulosa. La xilulosa se fosforila luego en xilulosa 5-fosfato mediante xilulocinasa (XK), siendo esta última metabolizada por la pentosa vía de fosfato. En bacterias, la d-xilosa se convierte directamente en dxilulosa por la xilosa isomerasa (XI). En eucariotas como levaduras y hongos filamentosos, la d-xilosa se convierte en d-xilulosa por medio de reducción y oxidación, que son catalizadas por la xilosa reductasa (XR) y xilitol deshidrogenasa (XDH) [3, 6].

El oxígeno disuelto es un nutriente limitante en cultivos con alta demanda de oxígeno, lo cual puede deberse a la velocidad de crecimiento del microorganismo, a una alta producción de biomasa o a que las propiedades reológicas de los medios de cultivo ofrezcan resistencia a la transferencia de masa. Sin embargo, una de las razones principales por las que la disponibilidad del oxígeno en el medio de cultivo es limitada, está relacionada con su baja solubilidad en soluciones acuosas de nutrientes. Para superar este inconveniente y evitar que la transferencia de oxígeno sea el paso controlador para el crecimiento microbiano, viéndose afectado el cultivo y el bioproceso [7], se emplean como alternativas convencionales cambios en la velocidad de agitación o en el flujo de aireación o en los sistemas de distribución de aire [5].

Metodología

Materiales

Se emplearon $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, Extracto de levadura, y Xilosa. El microorganismo empleado fue la levadura IEC5-ITV, proporcionado por el Instituto Tecnológico de Veracruz.

Preparación

Se realizó el método indirecto gassing-out para determinar los coeficientes de transferencia de oxígeno. Para la determinación, se realizaron cinéticas donde la concentración de oxígeno disuelto (O.D) se midió cada 20 s con el electrodo polarográfico marca AppliSens modelo Z010023522, se realizaron en medio sintético para evitar que componentes iónicos de los hidrolizados intervinieran con la lectura del electrodo. 1

En la Figura 1 se muestra la adaptación de a) rotámetro marca Flux-O-Fy modelo FOM011, b) bomba de aire marca Hagen modelo Optima y c) tanque de nitrógeno al biorreactor Applikon *My-Control* para realizar los cálculos correspondientes.

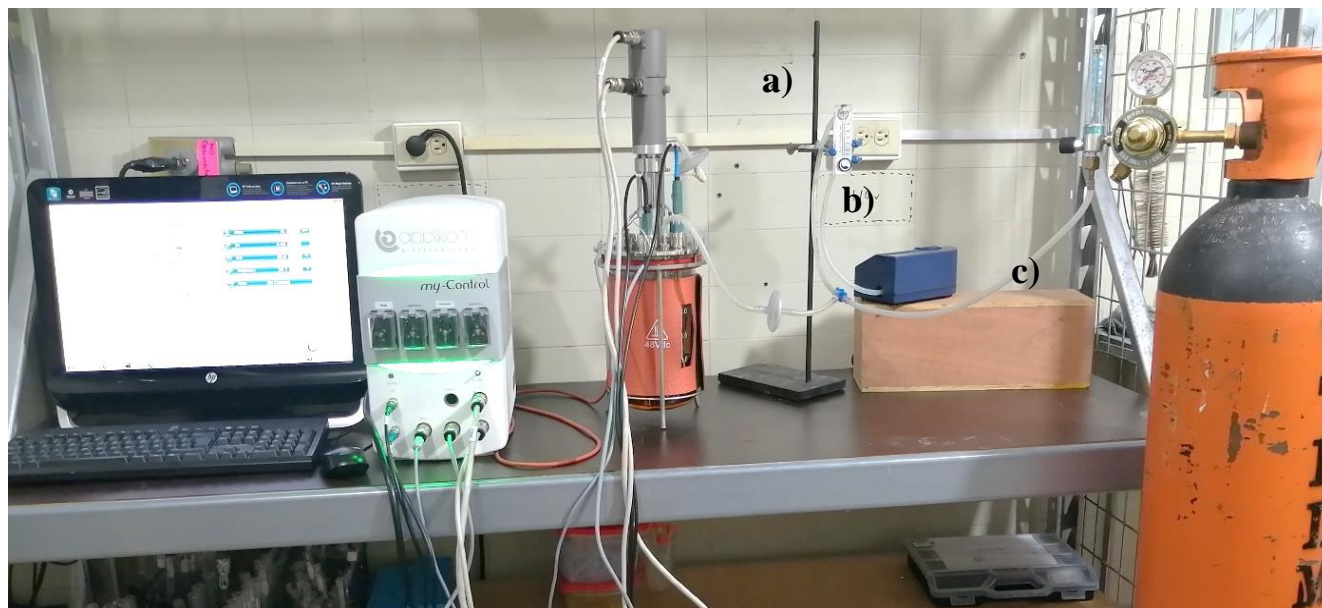


Figura 1 Adaptación del aire y nitrógeno al biorreactor Applikon *My-Control* para los cálculos del k_La .

El método consistió en desplazar el oxígeno presente en el medio haciéndole pasar un flujo de 40 kgf/cm² de N₂ hasta que la concentración de O.D. fuera de 0%. Posteriormente se realizó la calibración del sensor de O.D. y se realizaron las determinaciones del k_La con las condiciones de velocidad de agitación y aireación descritos en la Tabla 1. Los flujos de aire se midieron con el rotámetro y todas las cinéticas se realizaron a 30°C.

Tabla 1 Condiciones de velocidad agitación y aireación para determinar k_La (h⁻¹) en medio sintético

Velocidad de Agitación (rpm)	Aireación (vvm)		
300	1	0.5	0.1
200	1	0.5	0.1
100	1	0.5	0.1

Los términos k_L y a resultan difíciles de medir en forma directa en una fermentación, lo normal es evaluarlo como k_La . La Ec.1 muestra la variación de C_L con el tiempo, una integración entre los límites a $t=0$ y $C_L=0$ da el resultado siguiente:

$$\ln\left(1 - \frac{C_L}{C_g^*}\right) = -k_La * t \quad (1)$$

Donde C_L es la concentración de O₂ disuelto en el medio (mgO₂/L), C_g^* es la concentración de O₂ disuelto en saturación en el medio (mgO₂/L) a 30°C, k_La es el coeficiente de transferencia de O₂ (h⁻¹) y t es el tiempo (h).

Posterior a las determinaciones de los k_{La} , se realizó el cálculo de las velocidades de transferencia de oxígeno (OTR) con la Ec. 2.

$$OTR = k_L a (C_g^*) \quad (2)$$

Donde k_{La} es el coeficiente de transferencia de oxígeno (h^{-1}) y C_g^* es la concentración de O_2 disuelto en saturación en el medio (mgO_2/L) a $30^\circ C$.

Resultados y discusión

Debido a la dificultad existente para calcular k_{La} en biorreactores mediante correlaciones existentes, el coeficiente de transferencia de materia para el oxígeno se determinó de manera experimental mediante el método indirecto o eliminación de gas. Se realizó la caracterización con 1 L de medio sintético para simular las concentraciones de los azúcares presentes en el hidrolizado de los residuos lignocelulósicos asumiendo que el comportamiento es el mismo, esto es para evitar que los compuestos iónicos de los hidrolizados se adhirieran a la membrana del electrodo polarográfico e intervinieran en las lecturas.

El método consistió en desgasificar con nitrógeno el medio sintético para eliminar completamente el oxígeno del medio hasta que el electrodo detectara una concentración de 0% de oxígeno disuelto, posteriormente se calibró el electrodo y se comenzó a airear a las condiciones de operación descritos en la metodología, se tomaron las lecturas cada 20 s hasta llegar al 100% de oxígeno disuelto en el medio.

El balance molar para el oxígeno en el biorreactor batch con agitación y transferencia de masa a través de una interfase gas-líquido, conduce a la Ec. 3

$$\frac{dC_L}{dt} = k_L a (C_g^* - C_L) - Q_{O_2} X \quad (3)$$

Debido a la restricción planteada para el desarrollo de la medición, la Ec. 3 se reduce a

$$\frac{dC_L}{dt} = k_L a (C_g^* - C_L) \quad (4)$$

Entendiéndose que la Ecuación 4 solo muestra la variación de C_L con el tiempo, una integración entre los límites $t=0$ y $C_L=0$ da la siguiente ecuación

$$\ln\left(1 - \frac{C_L}{C_g^*}\right) = -k_L a * t \quad (5)$$

Por lo tanto, la Ecuación 5 es una recta de $\ln(1 - C_L/C_g^*)$ vs t con pendiente igual a $-k_{La}$.

En la Tabla 2 se muestran los valores de k_{La} calculados expresados en h^{-1} con respecto a la aireación y agitación, y en la Figura 2 se muestran los coeficientes de transferencia de oxígeno, los valores más bajos corresponden a la tasa de flujo de aire baja, mientras que los valores más altos son los de la tasa de aireación más alta. El aumento en los valores de k_{La} ocurrieron cuando la velocidad de agitación y la tasa de aireación aumentaron.

Mediante los valores de k_{La} se calcularon los valores de transferencia de oxígeno OTR, el cálculo se realizó con la Ec. 6

$$OTR = k_L a (C_g^* - C) \quad (6)$$

Tabla 2. Caracterización del k_La (h^{-1}) del biorreactor Applikon my-Control a diferentes condiciones

Aireación (vvm)	Velocidad de Agitación (rpm)		
	100	200	300
0.1	1.08	1.44	2.16
0.5	3.96	9.36	13.32
1	4.32	14.04	18

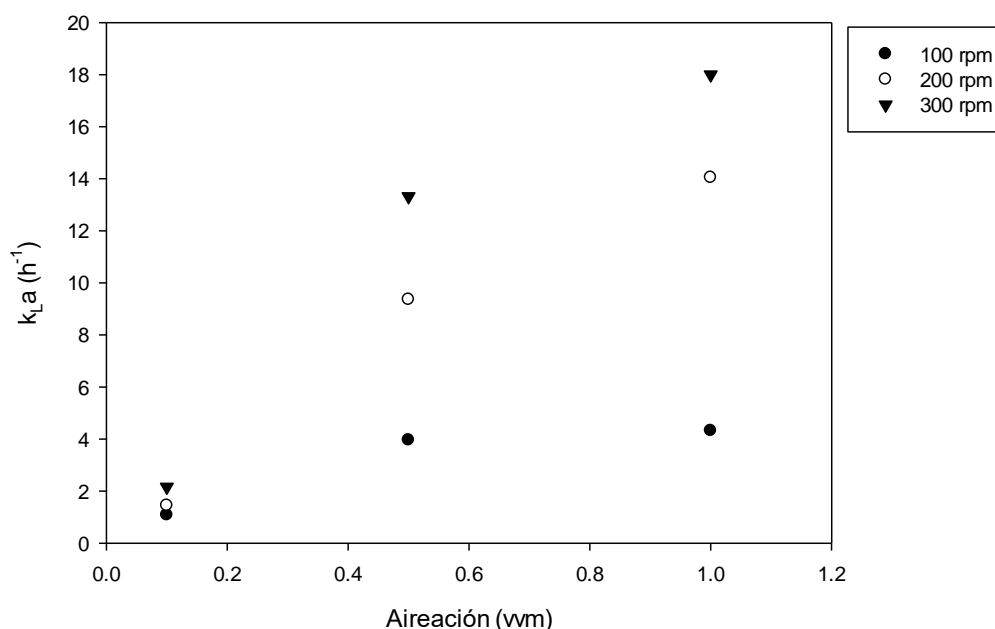


Figura 2 Coeficientes de transferencia de oxígeno en función de distintos flujos de aire y agitación

Dónde k_La es el coeficiente de transferencia de oxígeno, C concentración de O_2 disuelto en el medio y C_g^* concentración del O_2 disuelto en saturación en el medio.

La concentración de oxígeno disuelto en saturación en el medio se calculó mediante la Ley de Henry (Ec. 7).

$$P_i = H_i^* * X_i \quad (7)$$

Donde P_i es la presión parcial del gas (0.21 atm), H_i constante de Henry (4.75×10^4 mol/L*atm) y X_i concentración del gas (4.42×10^6 mol/L). Por lo tanto, la concentración de oxígeno en agua a $30^\circ C$ y a 1 atm es de 7.85 mg O_2 /L.

Se asumió que los valores obtenidos en el medio sintético serían iguales para los hidrolizados, se decidió que la velocidad de agitación y la aireación serían fijos de acuerdo a la Tabla 2.3 durante el cultivo por lotes en medio sintético e hidrolizado ácido de CC, como consecuencia de los errores de medición debido a la composición del medio. La concentración de oxígeno en el medio al inició fue del 100% y desconocida durante la misma. Entonces la Ec. 6 se reduce a

$$OTR = k_La(C_g^*) \quad (8)$$

Se calcularon los valores de la OTR a partir de la Ec. 8 y los resultados se muestran en la Tabla 3

Tabla 3. Resultados de las OTR (mgO₂/Lh) correspondientes al kLa (h⁻¹)

Aireación (vvm)	Velocidad de Agitación (rpm)		
	100	200	300
0.1	8.47	11.30	16.95
0.5	31.08	73.47	104.56
1	33.91	110.21	141.3

La aireación y la agitación fueron variables importantes para la producción de una OTR eficaz. En la Figura 3. se observa que el comportamiento de las OTR es similar al kLa. Las tasas de oxígeno pueden verse afectadas además del caudal de aire y la velocidad de agitación, por el gas empleado, propiedades físicas del líquido, condiciones operativas y parámetros geométricos del biorreactor.

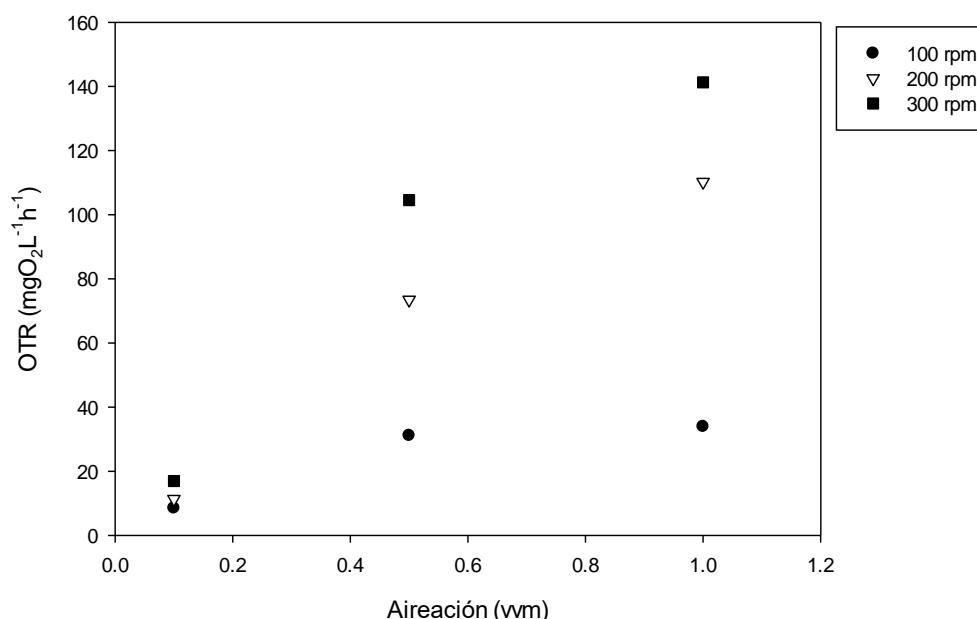


Figura 3. Velocidades de transferencia de oxígeno en función de distintos flujos de aire y agitación

Se realizaron tres fermentaciones con tres distintas OTR's, 8.47, 33.91 y 141.3 mgO₂/Lh respectivamente. Con el fin de evaluar el efecto de la tasa a aireación y agitación en la producción de xilitol mediante la levadura *Candida tropicalis* IEC5-ITV. Se trabajó con un litro de medio sintético estéril, a una temperatura controlada de 30°C, se inoculó con 3x10⁶ células viables/mL, aireando el medio, previo al inicio de la fermentación, al menos 8 h para polarizar el electrodo de oxígeno disuelto. Los resultados mostraron que el consumo de sustrato y la generación de producto, donde la máxima producción de xilitol fue de 12.875 g/L presente en las 72 h, se obtuvo con una OTR de 33.91 mgO₂/Lh, correspondiente a una kLa de 4.32, en tanto que OTR's más bajas o más altas, mostraron una menor producción de xilosa, evidenciando la necesidad de una velocidad de transferencia de oxígeno adecuada.

Hernández-Pérez [8] obtuvieron un rendimiento de 0.86 g/g y productividad de 0.51 g/Lh que fueron maximizados mediante un valor de kLa de 6.5 h⁻¹ y una concentración inicial de sacarosa de 0.9 g/L, en tanto Maina [9] demostraron que la gran influencia de la kLa en la producción de acetoina o D-2,3-butanediol (D-BDO) by *Bacillus*

amyloliquefaciens a partir de hidrolizados de residuos de panadería ya que su incremento favoreció la generación de los productos, aunque fue necesario tiempos de fermentación muy altos.

Trabajo a futuro

A partir de las OTR's obtenidas, se investigará su efecto para el cultivo con lotes empleando residuos lignocelulósicos hidrolizados ácidos, a fin de determinar las condiciones adecuadas para la obtención de xilitol

Conclusiones

La caracterización del coeficiente de la transferencia de oxígeno en el biorreactor Applikon My-control permitió conocer la una relación directa con la aireación y la agitación, siendo variables importantes para determinar las OTR's. Las tasas de oxígeno pueden verse afectadas, además del caudal de aire y la velocidad de agitación, por el gas empleado, propiedades físicas del líquido, condiciones operativas, parámetros geométricos del reactor y el consumo de oxígeno por las células.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada no. 960237, al TecNM por el financiamiento otorgado al proyecto 13244.21-P y al Tecnológico Nacional de México campus Veracruz por el uso del laboratorio de bioingeniería.

Referencias

- [1] J. Espinoza "Biotechnological production of xilitol from agricultural waste", *Revista de Ciencia Biológicas y de la Salud*. vol. 12 no. 1, pp. 126-134, 2019
- [2] J. Pappu and S. Gummadi S. "Artificial neural network and regression coupled genetic algorithm to optimize parameters for enhanced xylitol production by *Debaryomyces nepalensis* in bioreactor" *Biochemical Engineering Journal*. Vol. 120, pp. 136-145, 2017
- [3] E. Ledezma, R. Ruiz, G. Bastos, N. Montes, V. Roa, G. Rodriguez, "Producción de xilitol a partir de hidrolizados ácidos no detoxificados de bagazo de sorgo por *Debaryomyces bansenii*". *AGROCIENCIA*. Vol. 52: 1095-1106, 2018
- [4] P. Cortivo, L. Hickert, R. Hector, M. Záchia, "Fermentation of oat and soybean hull hydrolysates into ethanol and xilitol by recombinant industrial strains of *Saccharomyces cerevisiae* under diverse oxygen environments", *Industrial crops y products*. Vol. 34, no. 4, pp. 917-936, 2017
- [5] K. S. Celestino F., L.Tito A., "Influencia de la concentración de materia orgánica del agua residual doméstica sintética en el coeficiente global de transferencia de oxígeno". Tesis de Licenciatura. Facultad de ingeniería Química. Universidad Nacional del Centro del Perú., 2020
- [6] T. Lima, I.J. da Silva, G. Ribeiro, and M. Valderez, "Biotechnological Production of Xylitol from Lignocellulosic Wastes: A review". *Process Biochem*. Vol. 49, no.11, pp. 1779-1789, 2014

- [7] D. Cong, L. Yimini, Z. Han, Y. Tangguo, Y. Wenjie, J. Yu, "Production of bioethanol and xylitol from non-detoxified corn cob via a two-stage fermentation strategy", *Bioresources Technology*, vol. 310, 123427, 2020
- [8] A. F., Hernández-Pérez, F. A., Antunes, J. C., dos Santos, S. S., da Silva, "Valorization of the sugarcane bagasse and Straw hemicellulosic hydrolysate through xylitol bioproduction: effect of oxygen availability and sucrose supplementation as key factors". *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2020
- [9] S. Maina, R. Schneider, M. Alexandri, H. Papapostolou, G-J Nychas, A. Koutinas, J. Venus, "Volumetric oxygen transfer coefficient as fermentation control parameter to manipulate the production of either acetoin or D-2,3-butanediol using bakery waste", *Bioresource Technology*, 2021

EVALUACIÓN DE LA POLÍTICA CLIMÁTICA LOCAL DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE PUEBLA

Pinillo Flores, Alma Griselda¹; Negrete Cardoso, Mariana²; Herrera García, Marco Antonio³; Rosano-Ortega, Genoveva⁴; García Villanueva, José Fernando⁵

¹Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, almagriselda.pinillo01@upaep.edu.mx; ²Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, mariana.negrete@upaep.mx; ³Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, marco.herrera@puebla.gob.mx; ⁴Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, genoveva.rosano@upaep.mx; ⁵Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, josefernando.garcia01@upaep.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Se realizó una evaluación cualitativa de los instrumentos de política climática en 6 municipios del Estado de Puebla: San Pedro Cholula, San Andrés Cholula, Coronango, Cuautlancingo, Amozoc y Puebla; determinándolos como Zona Metropolitana del Valle de Puebla. Para ello, se delimitó la zona de estudio proponiendo criterios de regionalización, vulnerabilidad y colaboración intermunicipal. Se elaboró un diagnóstico de los instrumentos de política local por municipio con una evaluación de resultados, mediante análisis documental y revisión de gabinete; y se generaron recomendaciones de fortalecimiento de capacidades. Como principales hallazgos, resalta la falta de inclusión de cambio climático como eje transversal en los Planes Municipales de Desarrollo; no se cuenta con instrumentos adecuados para su atención, estructura orgánica, personal capacitado especializado ni financiamiento para proyectos de mitigación, adaptación o resiliencia, y falta fortalecer el acceso a la información pública.

Palabras clave: Cambio climático, municipios, Estado de derecho.

Abstract

A qualitative evaluation of climate policy instruments was carried out in 6 municipalities of the State of Puebla: San Pedro Cholula, San Andrés Cholula, Coronango, Cuautlancingo, Amozoc and Puebla; determining them as the Metropolitan Zone of the Valley of Puebla. To this end, the study area was delimited by proposing criteria of regionalization, vulnerability and intermunicipal collaboration. A diagnosis of the local policy instruments by municipality was prepared with an evaluation of results, through documentary analysis and desk review; and recommendations for capacity building were generated. The main findings were the lack of inclusion of climate change as a cross-cutting issue in the Municipal Development Plans; there are no adequate instruments for its attention, organizational structure, specialized trained personnel or financing for mitigation, adaptation, or resilience projects; and access to public information needs to be strengthened.

Key words: Climate change, municipalities, Rule of law.

Introducción

De acuerdo con el Informe especial del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) respecto a los impactos del calentamiento global de 1,5°C, se tienen proyecciones de estragos en el sistema climático de las emisiones derivadas de fuentes antropogénicas, las cuales podrían detenerse si se implementaran medidas [1]. Por ello es importante conocer las acciones locales que contribuyan a la disminución de los impactos previstos. Para el Estado de Puebla se espera un incremento de temperatura entre 1.5°C y 1.9°C, además de cambios en la precipitación entre -4% y 8%, conforme al escenario RCP 8.5 y los modelos HADGEM2-ES, MPI-ESM-LR, GFDL-CM3 [2]. De ahí que la Estrategia Estatal de Cambio Climático 2021-2030 de la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT) del Gobierno del Estado de Puebla, considere importante el acompañamiento a municipios que resultan vulnerables al cambio climático [3]. Aunado a lo anterior, el municipio de Puebla cuenta con un Plan de Acción Climática Municipal, siendo el único municipio en el Estado con instrumento de política local en la materia. No obstante, comparte características comunes en materia de vulnerabilidad respecto de otros municipios aledaños. Por tanto, el objetivo general de esta investigación es realizar una evaluación cualitativa de los instrumentos de política local en materia de cambio climático en los municipios determinados como Zona Metropolitana del Valle de Puebla (ZMVP), a

través de análisis documental de información pública y revisión de gabinete, para generar recomendaciones de fortalecimiento de capacidades.

Metodología

Delimitación del área de estudio

Se propuso la delimitación de la Zona Metropolitana del Valle de Puebla, considerando como municipio central Puebla, y los conurbados como Amozoc, Coronango, Cuautlancingo, San Andrés Cholula y San Pedro Cholula, tomando en cuenta los siguientes criterios: regionalización del Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024 [4], vulnerabilidad [5] y colaboración intermunicipal [6].

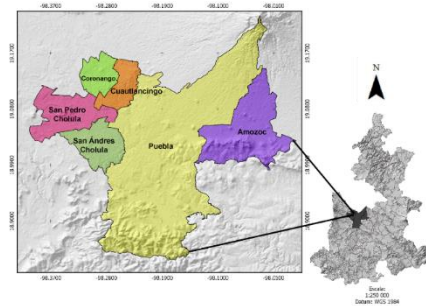


Figura 1. Delimitación de la zona de estudio: Zona Metropolitana del Valle de Puebla. Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2018

Criterio 1: Regionalización del Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024

La Región 21-31 corresponde al Área Metropolitana de la Ciudad de Puebla, con los municipios de Puebla, San Andrés Cholula, San Pedro Cholula, Amozoc, Cuautlancingo, Coronango, Ocoyucan, Juan C. Bonilla, San Miguel Xoxtla, San Gregorio Atzompa y Tlaltenango [4]. Es decir, los 6 municipios considerados para esta investigación se encuentran en ésta. Se realizó un análisis del Programa de la Región 21-31, en donde se identificaron aspectos comunes de áreas naturales protegidas, área afectada por incendios, sitios de disposición final de residuos, viviendas con disposición inadecuada de los mismos, plantas de tratamiento de agua residual, capacidad instalada, recolección de residuos sólidos urbanos, y potencial de producción de energía. Además, este programa incluye indicadores y metas que contribuyen al Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024 así como a la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, manejando como enfoque transversal el cuidado ambiental y atención al cambio climático. Por tanto, se fundamenta la delimitación propuesta, ya que los municipios seleccionados son de importancia para el instrumento de planeación de la actual administración estatal, y se enfatiza en aspectos de mitigación y adaptación al cambio climático.

Criterio 2: Vulnerabilidad

En el cuaderno de investigación titulado “Índice de vulnerabilidad y capacidad de adaptación” publicado por la Dra. María Eugenia Ibararán en 2012, se identificó a los 6 municipios seleccionados en regiones con rangos 3 a 6 de vulnerabilidad, los cuales representan valores altos. Esto puede apreciarse en la Figura 2.

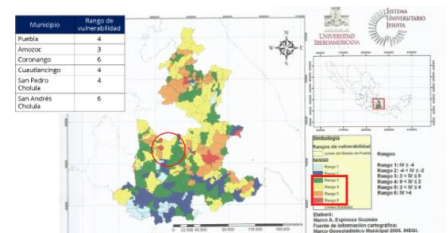


Figura 2. Índice de vulnerabilidad y capacidad de adaptación para la zona de estudio. Fuente: Ibararán & Santillán, 2012

Sumado a ello, se realizaron análisis de la información del Atlas Nacional de Vulnerabilidad (ANVCC) [5] mediante el Sistema de Información Geográfica QGIS, para obtener actualizaciones sobre el estatus de vulnerabilidad de la zona seleccionada, considerando todos los componentes del ANVCC. De los seis componentes, se descartaron 3 debido a que toda la zona se ubicaba en rangos de “No vulnerable”. Por tanto, se obtuvieron resultados para vulnerabilidad de asentamientos humanos por deslaves, de la producción forrajera ante estrés hídrico, y de la producción ganadera ante estrés hídrico, teniendo coincidencias entre niveles bajos y medios de vulnerabilidad para la zona de estudio.

Criterio 3: Colaboración intermunicipal

En cuanto a la colaboración intermunicipal, a través de comunicación personal con la Secretaría de Desarrollo Urbano y Sustentabilidad del Municipio de Puebla (SDUS), se tuvo conocimiento de las gestiones para crear un “Comité Intermunicipal de Medio Ambiente de la Región Metropolitana de Puebla. CIMA”, considerando a los municipios de: Puebla, Coronango, Cuautlancingo, San Pedro Cholula y San Andrés Cholula, así como la colaboración de la SMADSOT y SEMARNAT Puebla. No se encontró publicación de documento oficial de creación, pero se obtuvo un documento relacionado a educación ambiental de 2021 en el marco del CIMA [6].

Criterios para la evaluación

Se aplicó una evaluación ex-post [7] de tipo sumativa [8], con enfoque de resultados [9] mediante análisis cualitativo [10], debido a que se analizaron y evaluaron los instrumentos de la administración 2018-2021, enfatizando en los resultados obtenidos por cada documento publicado mediante los sitios oficiales:

- Orden Jurídico Poblano - Normatividad Municipal, del Gobierno del Estado de Puebla.
- Periódico Oficial del Estado de Puebla.
- Revisión de documentos en cada sitio oficial de los municipios.
- Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial de Puebla – Listado de Instrumentos de planeación por municipio.
- En el caso del municipio de Puebla, por solicitud de transparencia.

Se emplearon técnicas documentales [11] de análisis de información pública y revisión de gabinete, comenzando con la fase teórica [12] mediante la elaboración de un listado de insumos a revisar. Para este listado, se consideraron criterios de INECC [13].

Fase teórica: Análisis documental y revisión de gabinete (México ante el cambio climático, 2021)

Se emplearon los criterios propuestos por el INECC para monitorear el avance subnacional de la Política Nacional de Cambio Climático en México, de manera que los resultados estén alineados [13]. Se añadió el rubro de “responsabilidad ambiental”, referente a sanciones en caso de daño al ambiente. Posteriormente, se realizó una tabla comparativa con los instrumentos por municipio, y se adaptaron fichas descriptivas de cada municipio, tomando como base las que elaboró INECC para las entidades federativas. Finalmente, se generaron propuestas de fortalecimiento de capacidades, contrastando con las facultades de los municipios derivadas de la Ley de Cambio Climático del Estado de Puebla [14], y los actuales Planes Municipales de Desarrollo.

Resultados y discusión

Análisis documental y revisión de gabinete para determinar Estado de Derecho

En septiembre de 2021 se realizó cambio de administración de todos los municipios, por lo que, al momento de reportar estos resultados, se consideraron elementos de la administración 2018-2021.

Tabla 2. Estado de Derecho de los municipios de la Zona Metropolitana del Valle de Puebla. Fuente: Elaboración propia con indicadores de INECC, 2021.

Municipio/indicador	Puebla	San Andrés Cholula	San Pedro Cholula	Amozoc	Coronango	Cuautlancingo
I. Instrumentos especializados en cambio climático						
1. Programa de desarrollo municipal	X	X	X	X	X	X
2. Programa municipal de cambio climático	X					
3. Procedimientos de evaluación de programas municipales	X					
4. Fondo de cambio climático y gestión de otros recursos						
II. Instrumentos Relativos a Emisiones y Calidad del Aire						
5. Fuentes emisoras. Formatos o instrumentos utilizados para elaborar e integrar la información proveniente de categorías de fuentes emisoras que se originan en el municipio	X	X				X ¹
III. Instrumentos Relativos a Manejo de Residuos Sólidos						
6. Manejo de residuos sólidos	X	X	X		X	X
IV. Instrumentos Relativos a Gestión Territorial						
7. Programa o plan de desarrollo urbano municipal	X	X	X	X	X	X

¹ El municipio de Cuautlancingo mencionaba un pago por concepto de operación de fuentes fijas, pero no se incluía el rubro en el formato.

Municipio/indicador	Puebla	San Andrés Cholula	San Pedro Cholula	Amozoc	Coronango	Cuatlancingo
8. Programa de ordenamiento ecológico local y desarrollo urbano				X ²		
9. Programa de protección civil	X	X	X			
10. Atlas local de riesgo	X	X	X			X
11. Reglamento de construcción	X	X ³				
12. Programa o plan municipal de movilidad	X					
13. Responsabilidad ambiental	X	X	X	X	X	X

Puebla

Sobre los instrumentos relativos a cambio climático, incluía el tema en el Eje 2. “Ciudad sostenible ambientalmente, por un planeta más resiliente” del Plan Municipal de Desarrollo 2018-2021, además de un Plan de Acción Climática del Municipio de Puebla de 2013 y reportado con indicadores de avance en 2021, rumbo al cierre de la administración. Asimismo, cuenta con una evaluación obtenida por transparencia, en donde de forma general, se reportó un 53% de avance en acciones de mitigación, 42% en adaptación, y 57% de metas cumplidas. No obstante, no cuentan con fondo para el cambio climático. En cuanto a emisiones y calidad del aire, sí cuentan con formatos y hasta un inventario obtenido también por transparencia, con enfoque en usos por tipo de combustible. Además, tienen instrumentos relativos al manejo de residuos, y sobre la gestión territorial, solo les falta el programa de ordenamiento ecológico local y desarrollo urbano. Los resultados se aprecian en la Figura 3.



Figura 3. Instrumentos del municipio de Puebla en el periodo 2018-2021

San Andrés Cholula

Para el primer apartado, instrumentos relativos a cambio climático, el Plan de Desarrollo Municipal de San Andrés Cholula, 2018-2021, cuenta con aspectos relacionados a contaminación del agua, captación de lluvia, plantas de tratamiento, y sistema de monitoreo de agua y aire, residuos. Es decir, aborda aspectos relacionados a cambio climático, pero no directamente. No cuenta con Plan de Acción Municipal, evaluación ni fondo. Sin embargo, en 2020 publicó dentro de su Código Reglamentario de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente, artículos relacionados a mitigación y adaptación al cambio climático, estableciendo como una obligación la creación de Programa Municipal de Acción Climática. Por otro lado, contenía formatos para identificación de fuentes emisoras. En cuanto a la gestión de residuos, también es novedoso su Reglamento para la Prevención y Gestión Integral Sustentable de los Residuos Sólidos Urbanos, con enfoque en economía circular, el cual contiene aspectos relacionados a la mitigación y potencial energético de éstos. Respecto a la gestión territorial, falta el programa de ordenamiento ecológico local y desarrollo urbano, así como plan de movilidad.

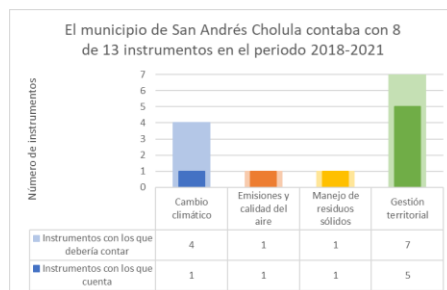


Figura 4. Instrumentos del municipio de San Andrés Cholula en el periodo 2018-2021

² El municipio de Amozoc cuenta con un “Programa Parcial de Ordenamiento Urbano y Protección Ecológica de la Zona de Regulación 2, del sur del Municipio de Amozoc, Haras Flor del Bosque”.

³ El municipio de San Andrés Cholula cuenta con el instrumento, pero no se vincula con cambio climático

San Pedro Cholula

El Plan de Desarrollo Municipal 2018-2021 de San Pedro Cholula, tenía criterios alineados a al ODS 13 Acción por el clima, como calidad del aire, residuos, implementación de energías renovables y planeación urbana. No todo ello se aplicó, pero se contemplaba en el instrumento de planeación. No cuenta con Plan de Acción Municipal, evaluación ni fondo. Además, no se encontraron formatos de reporte para fuentes emisoras provenientes del municipio, a pesar de que el Reglamento Municipal para la Protección del Ambiente Natural contempla la obligación de reportar esta información. El manejo de residuos se menciona en el Plan de Desarrollo Municipal y en el Reglamento señalado, así como en el Plan de Manejo de Residuos Sólidos desde 2016, pero ninguno tiene relación con cambio climático. Finalmente, sobre la gestión territorial, no cuenta con programa de ordenamiento ecológico local y desarrollo urbano, reglamento de construcción ni plan municipal de movilidad.

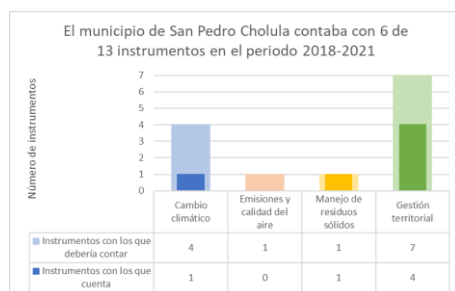


Figura 5. Instrumentos del municipio de San Pedro Cholula en el periodo 2018-2021

Amozoc

El Plan de Desarrollo Municipal de Amozoc, 2018-2021, tiene generalidades de medio ambiente en su Eje 3: Desarrollo Urbano y Obras Públicas, pero no se aborda cambio climático de manera directa. No cuenta con Plan de Acción Municipal, evaluación ni fondo. Tampoco se encontraron formatos de reporte para la integración de fuentes emisoras provenientes del municipio. Respecto al manejo de residuos, no tenía instrumentos específicos para una gestión integrada, solo se refería en el Reglamento de Imagen Urbana del Municipio de Amozoc, Puebla, sanciones por “arrojar basura en la Zona Típica Monumental, el Área Patrimonial de Protección o fuera de estas” (artículo 79, fracción I, inciso h). Finalmente, sobre la gestión territorial, no cuenta con programa de protección civil, atlas local de riesgo, reglamento de construcción ni plan municipal de movilidad. En el ordenamiento ecológico, solo con un programa parcial de una zona en específico. Los resultados se aprecian en la Figura 6.



Figura 6. Instrumentos del municipio de Amozoc en el periodo 2018-2021

Coronango

El Plan de Desarrollo Municipal de Coronango, 2018-2021 incluye programas vinculados a cambio climático, como el de rescate y defensa de los recursos hídricos; construcción y mejora de vialidades; mejora de alumbrado público; programa de reforestación urbana; erradicar tiraderos de basura; programa de Reciclaje; actualización del atlas de riesgo, del Programa Municipal de Desarrollo Urbano, y del Programa de Ordenamiento Ecológico. No cuenta con Plan de Acción Municipal, evaluación ni fondo. Además, no se encontraron formatos de reporte para la integración de información relativa a las fuentes emisoras provenientes del municipio, a pesar de que el Reglamento de Orden y Justicia Cívica, contempla esta obligación. En cuanto al manejo de residuos, se menciona al biogás únicamente en el reglamento señalado, y cuenta con el capítulo 19 “Limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos, pero no se encontró más información. Finalmente, sobre la gestión territorial, a pesar de haberse contemplado en el Plan de Desarrollo Municipal, no se encontró programa de ordenamiento ecológico local y desarrollo urbano, programa de protección civil, atlas local del riesgo, reglamento de construcción ni plan municipal de movilidad. Los resultados se aprecian en la Figura 7.



Figura 7. Instrumentos del municipio de Coronango en el periodo 2018-2021

Cuautlancingo

El Plan de Desarrollo Municipal del Municipio de Cuautlancingo 2018-2021 tenía aspectos medioambientales relacionados como ordenamiento territorial, infraestructura, agua potable y saneamiento, alumbrado, manejo de residuos y protección y educación ambiental; sin embargo, no se aborda cambio climático de forma directa. No cuenta con Plan de Acción Municipal, evaluación ni fondo. En cuanto a formatos de reporte de fuentes fijas, el Reglamento para el Equilibrio Ecológico, Protección del Ambiente y el Desarrollo Sustentable incluye varios lineamientos. No obstante, en la página del Ayuntamiento se encontró un apartado correspondiente a Pago anual por autorización municipal para la operación de fuentes fijas de emisiones a la atmósfera que no incluía el concepto ni el formato específico. En materia de residuos, en el Reglamento señalado se incluye un capítulo sobre la gestión integral de los residuos sólidos (artículos 74 al 100), donde se prohíbe el uso y entrega de popotes de plástico derivados de combustibles fósiles, excepto los que se empleen en hospitales (artículo 85). Finalmente, sobre la gestión territorial, no cuenta con programa de ordenamiento ecológico local y desarrollo urbano, programa de protección civil, reglamento de construcción ni plan municipal de movilidad. Los resultados se aprecian en la Figura 8.



Figura 8. Instrumentos del municipio de Cuautlancingo en el periodo 2018-2021

Directrices estratégicas para fortalecimiento de capacidades gubernamentales e institucionales

Para este apartado, se tomaron en cuenta las facultades de los municipios contenidas en la Ley de Cambio Climático del Estado de Puebla, contrastando con los hallazgos encontrados, las recomendaciones, y los actuales Planes Municipales de Desarrollo de la zona de estudio.

Tabla 3. Recomendaciones para gobiernos subnacionales a nivel municipal en la ZMVP. Fuente: Elaboración propia.

Facultad municipal	Hallazgos	Recomendaciones
Formular, implementar y evaluar la política climática municipal	No existe claridad respecto a una política climática contenida en instrumentos definidos, en la mayoría de los municipios.	1. Incluir una política climática como eje transversal en los Planes Municipales de Desarrollo. 2. Fortalecer la estructura institucional para considerar por lo menos, direcciones de medio ambiente en los municipios.
Formular, monitorear, evaluar, vigilar y publicar el Programa Municipal de Acción Climática (PAC)	No todos los municipios cuentan con PAC, y algunos ni siquiera lo contemplan en sus Planes Municipales de Desarrollo.	3. Elaboración obligatoria de los PAC en cada municipio, contemplada en los reglamentos internos de las dependencias, por municipio. 4. Mayor fomento y vinculación por parte de la Dirección de Cambio Climático, Ciudades Inteligentes y Transición Energética de SMADSOT.
Formular acciones y políticas de cambio climático acordes a la política estatal, en los siguientes rubros:		

Facultad municipal	Hallazgos	Recomendaciones
a) Agua potable y saneamiento.	No se visualiza con enfoque de adaptación la provisión de los sistemas de servicio de agua potable y saneamiento.	5. Determinar análisis de variabilidad climática, para conocer la incidencia en los recursos hídricos y tener un enfoque de adaptación en la gestión.
b) Programas de desarrollo urbano y ordenamiento ecológico local.	Los municipios carecen de Programas de ordenamiento ecológico local actualizado.	6. Elaborar una estrategia de vinculación de los programas de ordenamiento ecológico con los de desarrollo urbano, para tener mayores posibilidades de acceso a recursos y generar ambos en un solo documento.
c) Protección al ambiente y recursos naturales.	Se realizan reforestaciones, pero no se profundiza otro tipo de estrategias.	7. Incorporar enfoque de conservación y preservación, riqueza biocultural y perspectiva de género.
d) Protección civil.	No necesariamente existe vinculación de los programas de protección civil respecto a los efectos adversos de cambio climático.	8. Elaborar programas de protección civil, tomando como base la gestión de los riesgos climáticos y de desastres para promover la resiliencia. 9. Se puede considerar el Atlas de Vulnerabilidad del INECC, así como las fichas climáticas, pero, sobre todo, incentivar la realización de estudios locales de vulnerabilidad y riesgo.
e) Manejo de residuos sólidos urbanos.	Solo en algunos casos se vincula el potencial energético de los residuos, pero en general, tampoco se identifica vinculación respecto a las emisiones de metano y el potencial energético.	10. Incentivar planes de educación formal, no formal e informal para reducción de la generación de residuos. 11. Vincular el potencial energético de los residuos sólidos urbanos, así como mecanismos de economía circular, como el caso de los instrumentos de San Andrés Cholula. 12. Generar instrumentos que permitan realizar una corresponsabilidad hacia la industria que genera productos difíciles de reusar, reutilizar, reciclar o efectuar una adecuada disposición final debido a la composición de los materiales.
f) Transporte público sustentable y eficiente, fomentar transporte no motorizado.	Solo en algunos casos se reportan aspectos de movilidad sustentable, aunque en general no se realiza una vinculación.	13. Trabajo interinstitucional para el tema de movilidad, para integrar a las dependencias gubernamentales municipales con facultades en el tema. 14. Realizar un mapeo de actores en movilidad municipal, del cual se deriven mesas de trabajo con todo el sector, para generar estrategias donde se involucren las partes responsables. 15. Analizar la posibilidad de electromovilidad para algunos municipios.
Fomentar investigación científica y tecnológica	Se requiere mayor conocimiento científico y tecnológico local.	16. Vinculación con universidades para tener diagnósticos locales de cambio climático e identificar potencial de proyectos conjuntos y capacitación.
Campañas de información y educación	Resultan deficientes debido a la falta de claridad sobre los mensajes a comunicar respecto de cambio climático.	17. Crear e implementar una estrategia de educación formal, no formal e informal para promover la alfabetización climática. 18. Promover observatorios ciudadanos y participación corresponsable de la población. 19. Generar alianzas y estrategias con industrias para control de emisiones.
Fortalecimiento de capacidades sectoriales e institucionales	Se requiere personal capacitado, no se contempla el área en la estructura orgánica, falta la capacidad de gestión.	20. Capacitaciones en materia de cambio climático, con apoyo de la Dirección de Gestión de Cambio Climático, Ciudades Inteligentes y Transición Energética de SMADSOT, y actualización constante de la información disponible.
Celebrar convenios con el Estado para cumplir con sus Programas de Acción Climática Municipal (PAC)	A nivel estatal se cuenta con una Dirección de Gestión de Cambio Climático y Ciudades Inteligentes de la SMADSOT, no se visualizó un acercamiento de los municipios hacia la Dirección.	21. Asistencia de los municipios a las reuniones de la CICC-SINACC (federal), para seguimiento de acuerdos y aterrizaje en lo local. 22. Acercamiento de las dependencias estatales hacia los municipios para acompañamiento y seguimiento de los PAC.

Facultad municipal	Hallazgos	Recomendaciones
		23. Sistema de seguimiento y monitoreo de elaboración de los PAC por municipio, a través de un portal público.
Sistema de evaluación y seguimiento del PAC	La única evaluación de Puebla, no fue publicada, se obtuvo mediante la unidad de transparencia de SDUS	24. Implementar el artículo 42 de la Ley de Cambio climático del Estado de Puebla, en donde se menciona el contenido del PAC relacionado al monitoreo, seguimiento y evaluación.
Gestionar recursos para acciones de mitigación y adaptación	Para el caso de Puebla, se gestionó asistencia técnica en el periodo 2018-2021.	25. Fortalecimiento de capacidades para financiamiento climático.
Generar un fondo municipal de cambio climático	Los municipios no cuentan con fondos municipales de cambio climático.	26. Considerar convocatorias de financiamiento climático para proyectos específicos de mitigación, adaptación y resiliencia.
Integrar información sobre las fuentes emisoras de los municipios	Algunos municipios integran la información de fuentes emisoras a través de ciertos formatos, pero no existe una estandarización.	27. Homologar formatos por parte del Estado para integrar la información sobre las fuentes emisoras, y capacitar a los municipios para estandarización. 28. Capacitación en creación de inventarios municipales de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero, considerando las fuentes de las que obtienen información a través de los trámites municipales.
Elaborar y publicar Atlas Municipal de Riesgos	En la mayoría de los municipios, falta la elaboración del Atlas de Riesgos.	29. Promover capacitación para la elaboración de los Atlas municipales de riesgos, considerando riesgos climáticos.
Expedir reglamentos municipales en cambio climático	Cambio climático no se contempla en la mayoría de los instrumentos de los municipios; ninguno cuenta con reglamento específico.	30. Emitir instrumentos para reglamentar cambio climático en los municipios. 31. Generar mesas de trabajo para homologar reglamentos, o una propuesta de reglamento estatal y/o regional, que permita tener acciones comunes y se pueda monitorear desde lo local sin perder la visión regional o estatal.
Suscribir convenios para implementar sus facultades	Se conoce de la vinculación con la Dirección de Gestión de Calidad del Aire de la SMADSOT, pero no se alcanzó a visualizar la suscripción de convenios específicos de cambio climático.	32. Fortalecer la colaboración de los municipios con las Direcciones de Gestión de Cambio Climático y Ciudades Inteligentes, y Calidad del Aire de SMADSOT. 33. Generar acciones a nivel Zona Metropolitana, o intercambio de experiencias entre municipios, para fortalecer sus capacidades.
Fomentar la adaptación al cambio climático	Falta promover la adaptación de forma general en los municipios	34. Capacitaciones en materia de adaptación al cambio climático y soluciones basadas en la naturaleza. 35. Vinculación con la política nacional de adaptación al cambio climático. 36. Implementar proyectos con perspectiva de género y justicia intergeneracional. 37. Implementar sistemas de alerta temprana.
Formar parte del Sistema Estatal de Cambio Climático	No se identificó un Sistema Estatal de Cambio Climático	38. Solicitar el apoyo a SMADSOT para la creación y seguimiento del Sistema Estatal de Cambio Climático.

El Plan Municipal de Desarrollo de Puebla, Puebla, 2021 – 2024, incluye en el Eje 4, el Programa 13 “Medio Ambiente”, una estrategia para el cumplimiento de los compromisos municipales en la materia, con líneas de acción relacionadas al empleo de energías alternativas, y gestión de recursos para proyectos de mitigación y adaptación. Asimismo, incluye la generación de espacios públicos a través de una red de infraestructura verde, con cobertura arbórea, manejo de arbolado, poda, autorizaciones, creación de un inventario, esquemas de participación ciudadana, áreas naturales protegidas, conservación y restauración de zonas con degradación, producción de viveros municipales. Estas líneas concuerdan con la recomendación de tener una gestión más amplia de los recursos naturales, sin enfocarse únicamente en las reforestaciones. Por otro lado, se hace énfasis en un plan de Gestión Integral de Recursos Hídricos, considerando el nivel de microcuencas, proyectos de absorción del agua de lluvia, vigilancia del cumplimiento de normatividad con énfasis en industrias, y un sistema de control, seguimiento y evaluación. Con estos rubros, de manera indirecta se contribuye a la adaptación al

cambio climático. En cuanto a residuos, se promueve la economía circular; partiendo de ampliar la eficiencia en la cobertura de recolección, impulsar proyectos de compostaje, estudios de caracterización; promover la disminución en la generación, generar convenios y alianzas, así como vigilancia de la normatividad.

En el Plan Municipal de Desarrollo de Amozoc, Puebla, 2021-2024 no se incluyeron aspectos de cambio climático, pero tiene una línea de acción relacionada a la calidad del aire y del agua, así como prevención de incendios. Estas condiciones contribuyen a aumentar la capacidad adaptativa, además de que se contemplan actividades de concientización tanto para ciudadanía como servidores públicos, lo cual concuerda con la recomendación de promover la participación corresponsable.

El Plan Municipal de Desarrollo de Coronango, Puebla, 2021-2024, incluye en su eje 3 "Municipio ordenado y sostenible", programas relacionados al rescate de recursos hídricos, contemplando un diagnóstico, campañas de cuidado, y actividades que entran en un sistema de gobernanza de agua. La gestión del recurso hídrico es primordial para dar el enfoque de vulnerabilidad. Además, enfatiza en la sensibilización sobre residuos, lo cual concuerda con la recomendación de impulsar la reducción en la generación. Contempla la actualización de un atlas de riesgos, en donde se podría dar un enfoque de riesgos hidrometeorológicos para hacer frente a los efectos adversos de cambio climático; e impulsar un Plan de Desarrollo Urbano y dar seguimiento al Ordenamiento ecológico. Ambos aspectos son áreas de oportunidad para incluir el enfoque de cambio climático.

El Plan Municipal de Desarrollo de Cuautlancingo, Puebla, 2021-2024 incluye en el Eje 5 "Infraestructura para un Municipio Sostenible", promover el cuidado del agua, aire y suelo para combatir al cambio climático. Esto representa un gran avance porque en el Plan del periodo 2018-2021 no se incluía ningún aspecto relacionado a ello. En el actual se enfatiza en la disminución de emisiones a la atmósfera, impulsando la promoción del reciclaje, e identificar empresas que son parte del "Pacto Mundial de las Naciones Unidas" para contribuir a la disminución de emisiones. Esto se vincula con la recomendación de contar con instrumentos que promuevan una corresponsabilidad con las industrias, para controlar sus emisiones. Además, se hace énfasis en agua, lo que permitiría también fomentar la adaptación, tal como se señala en las recomendaciones.

Por otro lado, el Plan Municipal de Desarrollo de San Pedro Cholula, Puebla, 2021-2024, incluye en su Programa 13 Medio Ambiente, promover el desarrollo sustentable teniendo presentes los efectos del cambio climático, y entre sus metas, se incluye el Programa Municipal de Ordenamiento Ecológico (donde se podría vincular cambio climático de acuerdo con las recomendaciones). Además de un programa de movilidad, empleando términos como "urbana sustentable" que busca acortar trayectos y realizar convenios con actores estratégicos, lo cual concuerda con la recomendación de generar un mapeo de actores para crear estrategias conjuntas. Aunado a lo anterior, este instrumento menciona el "Acuerdo Metropolitano" incluyendo Amozoc, San Andrés Cholula, Coronango, Puebla, Cuatlancingo y otros dos. Incluso se menciona la creación de un Fondo Metropolitano Intermunicipal, que permita el financiamiento de proyectos estratégicos especialmente para el Área Metropolitana de la Ciudad de Puebla. Por lo que se robustece la recomendación de generar acciones como zona metropolitana, así como la delimitación de zona de estudio propuesta en esta investigación.

Finalmente, el Plan Municipal de Desarrollo de San Andrés Cholula, Puebla, 2021-2024, a pesar de no contener elementos directos de cambio climático, menciona una gobernanza participativa. Incluye un antecedente sobre la importancia de promover la resiliencia en las ciudades por lo que plantea una gobernanza urbana a través de actualizar el programa municipal de desarrollo urbano sustentable; agenda de coordinación metropolitana para homologar criterios de uso de suelo; y gobernanza hídrica con enfoque en estudios de calidad del agua mediante convenios con universidad, asociaciones y dependencias, así como el tratamiento. Esto refuerza las recomendaciones del uso de agua, promover la participación ciudadana y la investigación desde lo local.

Trabajo a futuro

Para dar seguimiento a las recomendaciones emitidas, se sugiere que los municipios integren un sistema de monitoreo, reporte y evaluación en materia de cambio climático (Sistema MRV), además de participar activamente en las sesiones de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, para estar vinculados con la política nacional. Esta investigación se enfocó en la evaluación de los instrumentos, para que estén alineados con la política nacional de cambio climático, por lo que se buscará el acercamiento con las administraciones actuales para sensibilizar sobre la importancia del seguimiento. Además, se sugiere la designación de un área responsable para el seguimiento, y en cuanto a la periodicidad, implementar una evaluación de procesos de manera anual, que permite conocer si se está llevando a cabo de manera eficiente y eficaz la política de cambio climático. De tal manera que los resultados se incorporen en una evaluación de resultados al final de cada administración.

Conclusiones

La evaluación cualitativa permitió determinar que el municipio de Puebla es el que más instrumentos de política climática cuenta, seguido del municipio de Cuautlancingo, San Andrés Cholula, San Pedro Cholula, Coronango y Amozoc. Además, se generó una propuesta de estandarización en seguimiento y monitoreo de los instrumentos a través de las fichas por municipio que se elaboraron, las cuales toman como base la estructura general del INECC, añadiendo un tema de responsabilidad social. Lo anterior, con la intención de alinear la información a nivel local, que permita vincularse con el monitoreo de la política nacional de cambio climático. Al desarrollar cada ficha descriptiva por municipio, se encontró que, si bien no todas lo abordan de manera directa, en un análisis de contenido puede encontrarse la vinculación con el tema. Por lo que se logró cumplir el objetivo de esta investigación.

Se resalta la falta de mecanismos claros para el acceso a la información pública, dado que algunos se encontraron únicamente por el mecanismo de transparencia. Es decir, una de las grandes áreas de oportunidad es la participación ciudadana y gobernanza. Respecto a las recomendaciones, si bien se generan un escenario ideal aplicando las facultades conferidas en los ordenamientos federales y estatales, es importante resaltar la importancia de que cambio climático esté contemplado en instrumentos rectores de planeación a nivel municipal, para materializarse en programas y proyectos, y por supuesto, en presupuesto. Además, no todos los municipios tienen institutos de planeación, lo que complica programar las líneas de acción.

Referencias

- [1] IPCC. Calentamiento global de 1,5°C. Resumen para responsables de políticas. <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/>. 2019
- [2] INECC. Impactos del cambio climático en Puebla (infografía). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo y Agencia Mexicana de Cooperación Internacional para el Desarrollo de la Secretaría de Relaciones Exteriores. 2019.
- [3] Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial. Estrategia Estatal de Cambio Climático 2021-2030. pp. 97. 2022
- [4] Gobierno de Puebla. Programas Regionales. Desarrollo Regional Estratégico. Región 21-31 Área Metropolitana de la Ciudad de Puebla. Puebla, México, Secretaría de Planeación y Finanzas. https://planeader.puebla.gob.mx/pdf/ProgramasRegionales2020/0_ProRegionales%2021-31%20Puebla.pdf. 2020
- [5] INECC. Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático México. 1ª. Edición (libro electrónico). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf 2019
- [6] Fuente propia.
- [7] Ortegón, E., Pacheco, J. & Prieto, A. Metodología del marco lógico para la planeación, seguimiento y evaluación de proyectos sociales, Manuales 42, CEPAL, Santiago de Chile, 2022/02/20, 2005
- [8] Cirera, L. & Vélez, C. Guía para la evaluación de políticas públicas. España. Universidad de Sevilla. 2000
- [9] INECC. Conoce al INECC. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/290327/conoce_al_INECC__171116b__copy__1_.pdf, 2022/02/15, 2017
- [10] Ligeró, J. Dos métodos de evaluación: criterios y teoría del programa. Acuña, C. (coord.) La evaluación de políticas. Fundamentos conceptuales y analíticos. Buenos Aires, Argentina, Corporación Andina de Fomento: CAF. <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1008>, 2017
- [11] Berenguera A, Fernández de Sanmamed MJ, Pons M, Pujol E, Rodríguez D, Saura S. Escuchar, observar y comprender. Recuperando la narrativa en las Ciencias de la Salud. Aportaciones de la investigación cualitativa. Barcelona: Institut Universitari d'Investigació en Atenció Primària Jordi Gol (IDIAP J. Gol). 2014
- [12] Díaz, C. Investigación cualitativa y análisis de contenido temático. Orientación intelectual de revista Universum. Revista General de Información y Documentación, 28(1), pp. 119-142. <https://doi.org/10.5209/RGID.60813> 2018, 2017
- [13] INECC. Instrumentos de política climática. <https://cambioclimatico.gob.mx/estadosymunicipios/Instrumentos.html>, 2022/02/15, 2022
- [14] Orden Jurídico Poblano. Ley de Cambio Climático del Estado de Puebla. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Puebla/wo105234.pdf>, 2013

Comparativa fisicoquímica entre Kiwi (*Actinidia deliciosa*) producido en Huatusco Veracruz y dos especies comerciales

Luis Leonardo Morales-Rodríguez¹, Miriam Cristina Pastelín-Solano¹, Marina Guevara-Valencia¹, Odón Castañeda-Castro¹, Tania Marín-Garza^{1*}
Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Prolongación de Oriente 6 No. 1009. Orizaba, Veracruz, México. C. P. 94340.

Autor para correspondencia: tamarin@uv.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El Kiwi es una fruta con un alto consumo en México, originario de China, en México todo el kiwi que se consume es de importación, por lo que producir kiwi en México mejoraría el mercado interno y la economía de los microproductores de las zonas de la sierra de Veracruz. El objetivo de este estudio fue evaluar las características físicas y químicas del kiwi Tropical Highland acondicionado a la zona de Huatusco, Ver., y dos variedades del kiwi comercial para comprobar si los parámetros son similares entre variedades. Las variables evaluadas mostraron que Tropical Highland obtuvo mayor concentración de glucosa, fructosa, sólidos solubles a las variedades comerciales, una acidez titulable similar y menor cantidad de materia seca. Tropical Highland mostró calidad similar e inclusive mayor que las variedades comúnmente comercializadas en el país. Por lo que podría considerarse como un cultivo opcional para las zonas montañosas de Veracruz.

Palabras clave: Tropical Highland, azúcares totales, acidez total, sólidos solubles

Abstract

Kiwifruit is a fruit with a high consumption in Mexico, originating in China; in Mexico all the kiwifruit consumed is imported, so producing kiwifruit in Mexico would improve the domestic market and the economy of microproducers in the highlands of Veracruz. The objective of this study was to evaluate the physical and chemical characteristics of Tropical Highland kiwifruit conditioned to the area of Huatusco, Veracruz, and two varieties of commercial kiwifruit to see if the parameters are similar between varieties. The variables evaluated showed that Tropical Highland had higher glucose-fructose concentration, higher soluble solids than the commercial varieties, similar titratable acidity and lower dry matter. Tropical Highland showed similar or even higher quality than the varieties commonly commercialized in the country. Therefore, it could be considered as an optional crop for the mountainous areas of Veracruz.

Key words: Tropical Highland, total sugars, total acidity, soluble solids.

Introducción

El Kiwi, es una fruta de la familia *Actinidiaceae* muy popular a nivel internacional gracias a sabor y sus efectos benéficos a la salud, debido a sus propiedades organolépticas y nutricionales [1, 2, 3]. Es un bejuco caducifolio originario de China que se desarrolla en lugares de clima templado y necesita entre 700 y 900 horas de frío, debajo de los 4°C, durante el invierno para la floración [4]. Las plantas de este género son vides leñosas que pueden alcanzar los 100 años de vida y una altura que oscila entre los 5 y 7 metros [5].

En su mayoría los frutos del kiwi son ovalados, con un peso entre los 50 y 70 g, aunque en ocasiones pueden superar los 200 gramos, el color de la piel puede ser verde, naranja, roja, marrón o púrpura, y la pulpa varía entre el amarillo, verde y rojo [6, 7].

La maduración del fruto, dependiendo de la especie, inicia con la caída de la flor y puede ser de entre 100 a 210 días, este proceso es esencial para que el fruto del kiwi alcance su característico sabor y optima composición química [8].

Aunque existen aproximadamente 70 especies de kiwi, solo dos son comercializados, *A. deliciosa* (kiwi verde) y *Actinidia chinensis* (kiwi dorado) [7]. En México, todo el kiwi que se consume es importado, por lo que producir kiwi en México mejoraría el mercado interno y la economía de los microproductores de las zonas de la sierra de Veracruz [9].

En México existen zonas tropicales propicias para el cultivo, hasta los 2800 msnm, principalmente en el estado de Veracruz, en donde se cultivan huertas de traspatio, frutales caducifolios como el kiwi. Sin embargo, debido a la falta de horas frío, generalmente los frutales presentan problemas sobre todo en la brotación de las yemas reproductivas y generan frutos de mala calidad [10]. A pesar de ello, estos cultivos forman parte de una táctica de los productores con la finalidad de reducir la erosión del suelo, mejorar su alimentación y obtener mejores recursos económicos en estas zonas [9].

Las horas frío han sido un obstáculo para vencer durante la producción de kiwi en diversos países y la elección de variedades con baja demanda de horas frío ha sido la solución para ellos [11]. Una de estas es la variedad Hayward del género (*Actinidia deliciosa*), que fue introducido en México a finales de los años 70's [4].

Pero estas variedades no han sido evaluadas y comparadas con las variedades comerciales que se venden en México [9]. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar las características físicas y químicas del kiwi Tropical Highland generado de *Actinia deliciosa* cv Hayward y acondicionado a las altas montañas, en la zona de Huatusco, Ver., y dos variedades del kiwi *Actinia deliciosa* comercial para comprobar si los parámetros de calidad son similares entre variedades.

Metodología

Material vegetal y condiciones del experimento

El presente trabajo se realizó con frutos de kiwi Tropical Highland *Actinia deliciosa* cv Hayward, provenientes de un huerto experimental, que se localiza a una altura de 1950 m.s.n.m., en la zona montañosa central del Estado de Veracruz, latitud 19° 11' 12.48" longitud 97° 11' 13.75" Huatusco, Veracruz y dos variedades comerciales de importación italiana y en el mercado local de origen chilena, ambos en la ciudad de Orizaba, Veracruz.

Cuantificación de carbohidratos

La cuantificación de carbohidratos se realizó de acuerdo con una variación de la norma [12]. Los carbohidratos se analizaron en un HPLC Dionex ICS3000 equipado con un detector electroquímico, columna CarboPac PA1 2x250 mm, utilizando un flujo isocrático de 0.5 mL min⁻¹ de agua grado HPLC como fase móvil y NaOH 300 mM para la reacción electroquímica postcolumna. Los análisis se realizaron por triplicado. Los resultados fueron expresados como porcentaje de peso de la materia fresca (% PMF), se realizó una curva de calibración utilizando estándares de glucosa y fructuosa ≥ 95 %, con nueve diferentes concentraciones (0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 1, 2, 3, 4 y 5 %).

Sólidos solubles

Los sólidos solubles totales se determinaron con un refractómetro y se expresaron en grados Brix (°Brix). En donde se colocó dos gotas del jugo filtrado en el prisma del refractómetro y se leyó el porcentaje de sólidos solubles en una escala graduada [13].

Acidez total

La acidez total titulable se realizó de acuerdo con el método Pinto *et al.* [13] con un potenciómetro, y se expresó en porcentaje de ácido cítrico. Para ello se tituló 5 mL de jugo de kiwi con NaOH 0,1 N hasta pH 8,1, determinado con el potenciómetro y se expresó en % de ácido cítrico calculado como mL de NaOH X 0.0064 / 5 ml X 100.

Materia seca

Se determinó de acuerdo con Godoy *et al.* [14] en donde se pesaron 5 g de cada fruto en una balanza analítica, en cajas de Petri previamente pesadas y se llevaron a una estufa, durante 24 horas a 65 °C. Una vez que mantuvieron peso constante se anotó el peso y se hizo el cálculo por diferencia de peso.

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza con prueba de comparación de Tukey con el paquete estadístico SAS [15].

Resultados y discusión

Cuantificación de carbohidratos

Se encontró la mayor concentración de glucosa y fructosa, 3.01 y 2.96 % respectivamente, en la variedad de kiwi cultivada en Huatusco, seguida por la variedad de origen chileno, siendo la de menor concentración la variedad italiana (Figura 1).

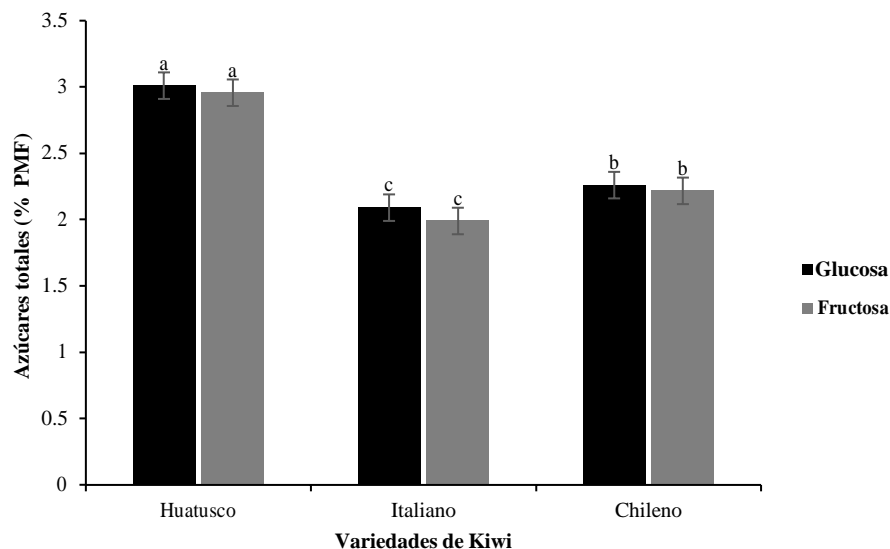


Figura 1. Concentración de glucosa y fructosa entre tres diferentes tipos de Kiwi. Medias \pm DE con letra distinta en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

Los azúcares en la fruta del kiwi son indicadores de la calidad organoléptica [16]. El contenido de glucosa y fructosa de *Actinia deliciosa* cv Hayward, de acuerdo con Dias *et al.* [17], es de 3.8 y 3.5 % respectivamente, lo que es parecido a nuestro estudio.

La marcada diferencia de azúcares entre las variedades puede ser ocasionada debido a que los frutos de *Actinia* spp, se ven afectados por factores ambientales como la disponibilidad de agua y la temperatura, lo que influye en el suministro de carbohidratos a los sumideros de los frutos durante su crecimiento [18]. Además, la regulación de las enzimas claves en el mecanismo de acumulación de azúcar difiere según la variedad de kiwi [19].

Sólidos solubles

Los sólidos solubles más altos (Figura 2), fueron en la variedad Huatusco y el más bajo en la variedad chilena con 15.27 y 12.87°Brix, respectivamente en donde se observan diferencias estadísticas significativas.

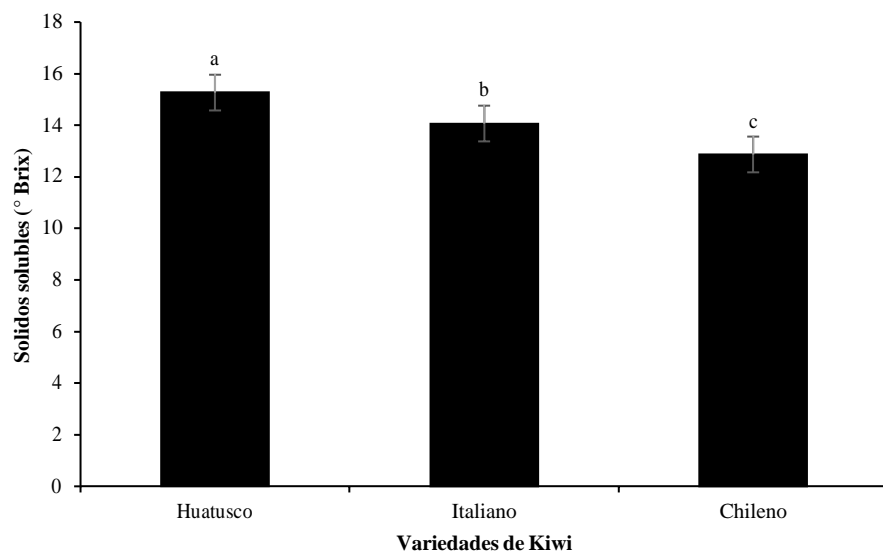


Figura 2. Concentración de sólidos solubles totales entre tres diferentes tipos de Kiwi. Medias \pm DE con letra distinta en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

El contenido de sólidos solubles da la pauta para conocer la madurez del kiwi [20]. El dulzor de la fruta se determina midiendo la concentración de los sólidos solubles los cuales están asociados con la cantidad de azúcares [21]. De acuerdo con el protocolo de cosecha para que un kiwi se considere maduro su contenido de sólidos solubles no debe ser inferior al rango de 6.2 a 6.5°Brix [20]. Sin embargo, Crisosto y Crisosto [22], determinaron que en la madurez gustativa o de consumo, el contenido de sólidos solubles totales no debe ser inferior a 12.5°Brix, concordando con lo encontrado en esta investigación en donde observamos sólidos solubles superiores a 12.8°Brix.

Acidez total

La acidez total no mostró diferencia estadística significativa entre variedades (Figura 3). Sin embargo, se observa una mayor acidez en la variedad cultivada en Huatusco, seguida de la variedad proveniente de Chile y la menor concentración en la variedad italiana.

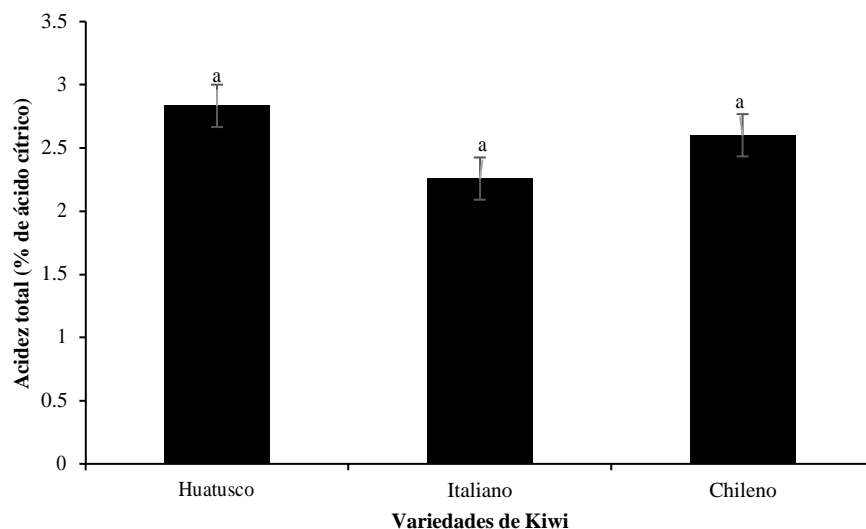


Figura 3. Acidez total entre tres diferentes tipos de Kiwi. Medias \pm DE con letra distinta en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

El factor significativo que influye en el sabor de las frutas es la acidez [23]. Durante el crecimiento del fruto del kiwi Hayward, se van acumulando los ácidos orgánicos, Godoy *et al.* [14], observaron en frutos de kiwi pertenecientes a la var. Hayward, un aumento continuo de ácidos orgánicos durante el transcurso de maduración, por lo que la acidez total es un interesante parámetro de madurez [24].

una forma de medir el contenido total de ácidos orgánicos es la acidez titulable, la cual representa del 40 al 50 % de ácido cítrico, 40 a 50 % de ácido quínico y un 10 % ácido málico [25]

Los ácidos orgánicos son un parámetro de sabor de los frutos del kiwi, Li *et al.* [26], observaron que a menor acidez y mayor contenido de azúcares el sabor del kiwi fue más agradable a los consumidores, a pesar de que el la acidez total y el pH fueron mayor en la variedad Huatusco, también lo fue el contenido de glucosa y fructuosa.

Materia seca

En cuanto al contenido de materia seca (Figura 4), se observaron diferencias estadísticas significativas en donde la variedad proveniente de Chile tiene mayor concentración (28.54 %), seguidas con las variedades provenientes de Italia y Huatusco (25.29 y 24.23 %).

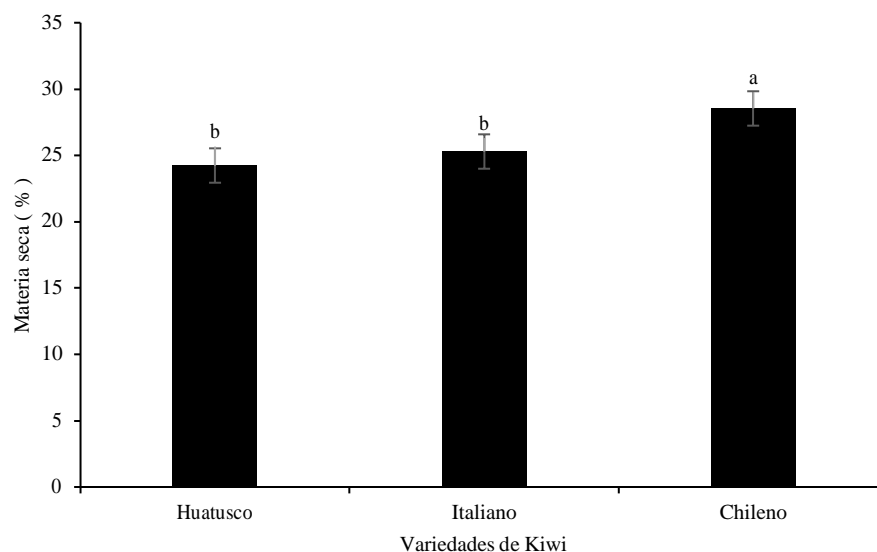


Figura 4. Materia seca entre tres diferentes tipos de Kiwi. Medias \pm DE con letra distinta en cada columna indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

La materia seca está compuesta principalmente por sólidos solubles (en su mayoría azúcares) y sólidos insolubles (principalmente almidones), en donde los primeros van aumentando conforme madura el fruto, debido a que el almidón se va hidrolizando [27, 28]. Por lo que la materia seca normalmente se vincula al contenido de sólidos solubles y constituye un índice de calidad sensorial [27, 15].

Trabajo a futuro

Es necesario continuar con análisis organolépticos, mediante un panel de degustación para conocer la aceptación del público, además de analizar la producción y rentabilidad del cultivo del Kiwi (*Actinidia deliciosa*) en diferentes zonas adecuadas de la sierra en México.

Conclusiones

Los resultados sugieren que el kiwi *Actinia deliciosa* cv Hayward, cultivada en la zona montañosa de Huatusco, Veracruz, tiene una calidad similar e inclusive mayor que las variedades comúnmente comercializadas en el país, por lo que podría considerarse como un cultivo opcional para las zonas montañosas de Veracruz.

Referencias

- [1] P. Latocha, B. Łata, B., and A. Stasiak, "Phenolics, ascorbate and the antioxidant potential of kiwiberry vs. common kiwifruit: The effect of cultivar and tissue type," *Journal of Functional Foods*, vol. 19, pp.155-163, 2015.
- [2] I. Nishiyama, Y. Yamashita, M. Yamanaka, A. Shimohashi, T. Fukuda, and T. Oota, "Varietal difference in vitamin C content in the fruit of kiwifruit and other *Actinidia* species," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 52, no. 17, pp. 5472-5475, 2004.
- [3] D. Pinto, C. Delerue-Matos, and F. Rodrigues, "Bioactivity, phytochemical profile and pro-healthy properties of *Actinidia arguta*: A review," *Food Research International*, vol. 136, pp. 109449, 2020.
- [4] C. Wall, W. Dozier, R. C. Ebel, B. Wilkins, F. Woods, and W. Foshee, "Vegetative and floral chilling requirements of four new kiwi cultivars of *Actinidia chinensis* and *A. deliciosa*," *HortScience*, vol. 43, no. 3, pp. 644-647, 2008.
- [5] A. Wojdyło, y P. Nowicka, "Anticholinergic effects of *Actinidia arguta* fruits and their polyphenol content determined by liquid chromatography-photodiode array detector-quadrupole/time of flight-mass spectrometry (LC-MS-PDA-Q/TOF)," *Food chemistry*, vol. 271, pp. 216-223, 2019.
- [6] S. J.Henare, "The nutritional composition of kiwifruit (*Actinidia* spp.)," in Nutritional composition of fruit cultivars, Academic Press, 2016, pp. 337-370
- [7] H. Huang, *Kiwifruit: the genus Actinidia*, Academic Press, 2016
- [8] D. P. Richardson, J. Ansell, and L. N. Drummond, "The nutritional and health attributes of kiwifruit: a review," *European journal of nutrition*, vol., no. 8, pp. 2659-2676, 2018.
- [9] D. Guerra-Ramírez, M. Galicia-Lucas, I. Salgado-Escobar, and J. G. Cruz-Castillo, "Características físico-químicas y funcionales de la fruta kiwi en una zona tropical de altura en México," *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 44, no.1, pp. 103-103, 2021.
- [10] J. G. Cruz-Castillo, F. R. Camontes, J. Vásquez-Santizo, P. Torres-Lima, "Temperate fruit production in Guatemala," *New Zealand journal of crop and horticultural science*, vol. 34, no. 4, pp. 341-348, 2006.
- [11] T. Zhao, D. Li, L. Li, F. Han, X. Liu, P. Zhang, M. Chen, and C. Zhong, "The differentiation of chilling requirements of kiwifruit cultivars related to ploidy variation," *HortScience*, vol. 52, no. 12, pp. 1676-1679, 2017.
- [12] ISO-11292-1195. Determination of free and total carbohydrate contents. Method using high-performance anion-exchange chromatography, <https://www.iso.org/standard/19270.html>
- [13] A.O.A.C. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 17th Ed. Nielsen. Nueva York, USA, 2000.
- [14] C. Godoy, C. Domé, C. Monti, "Determinación de índices de cosecha y calidad en kiwi en el sudeste bonaerense (Argentina)," *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, vol. 42, no. 1, pp. 53-72, 2010.
- [15] SAS (SAS, 2011)
- [16] L. Drummond, "The composition and nutritional value of kiwifruit," *Advances in food and nutrition research*, vol. 68, pp. 33-57, 2013.
- [17] M. Dias, C. Caleja, C. Pereira, R. C. Calhelha, M. Kostic, M. Sokovic, D. Tavares, I. J. Baraldi, L. Barros, C. F. R. Ferreira, "Chemical composition and bioactive properties of byproducts from two different kiwi varieties," *Food Research International*, vol.127, pp. 108753, 2020.
- [18] D. L. Lievre, R. Anderson, H. Boldingh, J. Cooney, R. Seelye, N. Gould, D. Hunter, D. Jensen, T. Pereira, M. Wohlers, M. Clearwater, and A. Richardson, "Modifying carbohydrate supply to fruit during development changes the composition and flavour of *Actinidia chinensis* var. *chinensis* 'Zesy002'Kiwifruit," *Plants*, vol. 10, no. 7, pp. 1328, 2021.

- [19] J. Liang, Y. Ren, Y. Wang, M. Han, T. Yue, Z. Wang, and Z. Gao, "Physicochemical, nutritional, and bioactive properties of pulp and peel from 15 kiwifruit cultivars," *Food Bioscience*, vol. 42, pp. 101157, 2021.
- [20] J. C. García-Rubio, G. G. Gonzáles-de Lena, and M. Ciordia-Ara. El cultivo del kiwi. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA), 2015.
- [21] M. Azadbakht, A. Rezaeiasl, M. J. Mahmoodi, M. Vahedi Torshizi, and S. Hashemi Shabankareh, "Evaluation of ambient light and moisture, and edible coatings in different storage period, on pressurized kiwifruit antioxidant properties," *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 15, no. 1, pp. 697-706, 2021.
- [22] C. H. Crisosto, and G. M. Crisosto, "Understanding consumer acceptance of early harvested 'Hayward' kiwifruit," *Postharvest biology and technology*, vol. 22, no. 3, pp. 205-213, 2001
- [23] S. Manzoor, A. Gull, S. M. Wani, T. A. Ganaie, F. A. Masoodi, K. Bashir, A. R. Malik, and B. N. Dar, "Improving the shelf life of fresh cut kiwi using nanoemulsion coatings with antioxidant and antimicrobial agents," *Food Bioscience*, vol. 41, pp. 101015, 2021.
- [24] C. Godoy, and C. Dome, "Relación entre la madurez fisiológica y la madurez comercial de frutos de kiwi 'Hayward' producidos en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina)," *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina*, vol. 45, no. 2, pp. 311-325, 2013.
- [25] K. Marsh, S. Attanayake, S. Walker, A. Gunson, H. Boldingh, and E. MacRae, "Acidity and taste in kiwifruit," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 32, no. 2, pp. 159-168, 2004.
- [26] Y. F. Li, W. Jiang, C. Liu, Y. Fu, Z. Wang, M. Wang, C. Chen, L. Guo, Q. Zhuang, and Z. B. Liu, "Comparison of fruit morphology and nutrition metabolism in different cultivars of kiwifruit across developmental stages," *PeerJ*, vol. 9, pp. e11538, 2021.
- [27] J. Burdon, D. McLeod, N. Lallu, J. Gamble, M. Petley, and A. Gunson, "Consumer evaluation of 'Hayward' kiwifruit of different at-harvest dry matter contents," *Postharvest biology and technology*, vol. 34, no. 3, pp. 245-255, 2004.
- [28] N. K. Given, N. K. "Kiwifruit,". In *Biochemistry of fruit ripening*, G. B. Seymour, J. E. Taylor, G. A. Tucker, Ed. Springer, Dordrecht, 1993, pp. 235-254.

EVALUACIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE A BASE DE SUERO LÁCTEO SOBRE CULTIVOS DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea var. italica*)

Cecilia Nayeli García Rodríguez¹, Elizabeth Quintana Rodríguez², Miroslava Alejandra Silva Goujon², Juan Vázquez Martínez³, Samuel Vargas Garcidueñas⁴, Domancar Orona Tamayo^{2*}.

¹Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería campus Guanajuato (UPIIG), Instituto Politécnico Nacional; ²Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC A.C.); ³Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, ⁴APIS-Biofertilizante, Irapuato, Gto. dorona@ciatec.mx*

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

La industria láctea genera grandes cantidades de residuos, principalmente el suero lácteo, el cual provoca la contaminación de suelo y agua. Se utilizó un biofertilizante a base de suero lácteo y un fertilizante comercial aplicados de manera foliar sobre cultivos de brócoli. Los resultados mostraron que el tratamiento con el biofertilizante aumentó el crecimiento vegetal en un 7.0%, peso y diámetro de floretes en un 31.0% y 29.0%, así como un 7.0% en el rendimiento total en comparación con el fertilizante comercial. En la cuantificación microbiológica de las hojas, se obtuvieron menores concentraciones de UFC con el tratamiento del biofertilizante, y en el análisis de parámetros elementales como C, H, N y S no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados indican que el biofertilizante tiene un efecto similar o mejor que el fertilizante comercial en los cultivos de brócoli.

Palabras clave: Biofertilizante, suero lácteo en cultivos, biomarcadores inducidos por biofertilizante.

Abstract

The dairy industry generates high amounts of waste, mainly lactic whey, which causes soil and water contamination. Lactic whey-based biofertilizer was foliarly applied and was compared with a commercial fertilizer in broccoli crops. The results showed that the biofertilizer treatment promoted plant growth by 7.0%, weight and diameter of florets increased by 31.0% and 29.0%, respectively, as well as 7.0% in total yield than the commercial fertilizer. In the microbiological quantification of the leaves, a decrease in CFU was obtained with the biofertilizer treatment, additionally, elemental analysis such as C, H, N, and S, no significant differences were found between the fertilizer treatments. Results indicate that the biofertilizer has a similar or better effect than the commercial fertilizer.

Keywords: Biofertilizer, whey in crops, biofertilizer-induced biomarkers.

Introducción

A nivel nacional, el estado de Guanajuato ocupa el quinto lugar en la producción de leche, con un estimado de 874,000 millones de litros, aportando el 6.7% de la producción nacional [1]. Esta industria láctea genera grandes cantidades de residuos, principalmente el suero lácteo, estimándose que en Guanajuato, se desechan más de 1,000,000 L diarios en los sistemas de alcantarillado o en el peor de los casos, es vertido en mantos acuíferos sin ningún tipo de tratamiento [2], provocando la contaminación del suelo, agua y de mantos freáticos, y aumentando la concentración de bacterias patógenas que afectan la salud [3].

El suero lácteo contiene proteínas y azúcares que pueden ser fermentados por bacterias lácticas, y los subproductos derivados de esta fermentación, pueden ser aplicados a cultivos agrícolas, ayudando a promover el crecimiento, aumentar la resistencia a plagas y disminuir las enfermedades de las plantas, así como son

mejoradores nutrimentales del suelo y la fijación de nitrógeno [4]. Por otro lado, en los últimos años se ha buscado reducir el uso de fertilizantes inorgánicos, ya que estos causan serios problemas ambientales como la disminución de la biodiversidad microbiana, el deterioro del suelo agrícola y contaminación del agua [5]. Asimismo, el costo de los fertilizantes químicos, representa entre el 40-50% del costo total de la producción agrícola, generando problemas económicos para los productores [6]. El costo de la urea y fosfato monoamónico, los fertilizantes más utilizados por los agricultores, se ha triplicado debido a diversos factores como son la pandemia de la COVID-19, y la guerra entre Rusia y Ucrania [7]. Ante este panorama, resulta de gran importancia desarrollar nuevas aplicaciones tecnológicas y ecoamigables en la revalorización de residuos agroindustriales como es el suero lácteo como base principal para la elaboración de biofertilizantes [8]. La producción de biofertilizantes resulta ser una solución para los desechos de suero lácteo, y el uso de biofertilizantes, potencialmente podría ser una solución en la disminución de costos para los agricultores, ya que se ha estimado que son 90% más baratos que los fertilizantes químicos [9]. Sin embargo, la falta de investigaciones relacionadas con los biofertilizantes ha generado que los agricultores no confíen en el producto y realizar investigaciones sobre parámetros de crecimiento y rendimiento en los cultivos, podría ser una ventana para que sean usados de manera regular en cultivos de alto interés agronómico.

El estado de Guanajuato es el principal productor a nivel nacional de brócoli, aportando más del 60% de la producción nacional, de la cual el 70% es exportada a países como Estados Unidos, Canadá y Japón [10] [11], y potencialmente, usar biofertilizantes en este tipo de cultivo podría generar altos rendimientos, bajos costos para los agricultores y mayor valor nutrimental al consumidor. En este trabajo se analizaron los efectos de la aplicación de un biofertilizante a base de suero lácteo y un fertilizante comercial sobre cultivos de brócoli, evaluando parámetros de crecimiento, concentración de microorganismos y rendimiento de cosecha.

Metodología

Ubicación de las parcelas

El estudio fue desarrollado en los meses de febrero-abril de 2022 en la localidad de San Nicolás de los Agustinos (20°14'45"N 100°58'28"O) perteneciente al municipio de Salvatierra, Gto. En el proceso de cultivo, se presentó una temperatura media de 23 °C y precipitación de 10 mm.

Aplicación de los tratamientos

Se utilizaron 3.0 ha divididas en 50 surcos para cada uno de los tres tratamientos. Se utilizó un biofertilizante a base de suero lácteo con nombre comercial "APIS® un portento de nutrición" (APIS-Irapuato, Gto.) y un fertilizante orgánico comercial "Bayfolan®" (Bayer de Mex.) con las siguientes dosis de aplicación: APIS (3.0 L/ha), Bayfolan (4.0 L/ha); se contó con surcos control, a los cuales únicamente se les aplicó fungicida e insecticida, al igual que a los otros dos tratamientos. La aplicación de los tratamientos fue realizada de manera foliar comenzando 7 días post-trasplante. Una vez aplicados los tratamientos, se realizaron 3 muestreos al azar cada 25 días. En cada monitoreo, se procedió a la recolección de las muestras, utilizando hielo seco para congelar inmediatamente y transportar el material biológico al laboratorio. El material fue almacenado en un ultracongelador a -40 °C.

Medición de parámetros físicos

Todos los parámetros físicos fueron medidos con cinta métrica, analizando la longitud de la raíz, longitud total, largo y longitud axial de las hojas y reportados en centímetros (cm). Se contaron los números de hojas y se registró el peso fresco y seco (gr). En el caso de los floretes producidos, se evaluó el diámetro y peso fresco. Finalmente se determinó el rendimiento de cosecha en toneladas por hectárea (ton/ha).

Cuantificación microbiológica

Las hojas colectadas, fueron homogeneizadas en mortero añadiendo 3.0 mL de buffer de fosfatos (137 mM NaCl, 2.7 mM KCl, 10 mM Na₂HPO₄, y 1.8 mM KH₂PO₄). Se recuperó la fase líquida y fue centrifugada a 3,000 rpm por 3 min a temperatura ambiente, la fase líquida fue recuperada y se realizaron diluciones seriadas (10⁻¹, 10⁻² y 10⁻³). Se tomaron 100 µL de cada dilución, y estas fueron espatuladas en agar nutritivo e incubadas por 24 h a 35 °C. Adicionalmente, las mismas diluciones fueron incubadas en agar dextrosa papa suplementado con

bencilpenicilina (100 mg/L) y fueron incubadas a 28 °C durante 7 días. Después de esos tiempos, se contaron las unidades formadoras de colonias (UFC).

Parámetros elementales

Se determinó el porcentaje de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N) y azufre (S) en las hojas de brócoli, para ello, estas fueron secadas en estufa a 45 °C. Se colocaron de 2 a 3 mg de cada muestra, así como 8 a 10 mg de pentóxido de vanadio en cápsulas de estaño. Finalmente, para la determinación de cada elemento, se utilizó un analizador elemental CHNS-O (Modelo Flash 2000, Thermo Scientific).

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados utilizando un ANOVA de un solo factor para el caso de los floretes de brócoli, y multifactorial en los muestreos de las plantas, para analizar las diferencias significativas (LSD) entre los tratamientos con un análisis post hoc (Fisher) usando el programa estadístico Minitab (versión 20.3).

Resultados y discusión

Parámetros físicos

Las hojas de brócoli tratadas con el biofertilizante a base de suero lácteo presentaron mayor longitud axial (13.0 cm) y longitudinal (19.5 cm), con respecto a las plantas tratadas con el fertilizante comercial (Figura A1). De la misma manera, las plantas con biofertilizante mostraron una mayor longitud de tallo (47.0 cm; $p < 0.05$), en comparación con el resto de los tratamientos aplicados (Figura 1B), y no mostraron diferencias significativas en la longitud de la raíz (Figura 1B). Se observó que el número de hojas de las plantas tratadas con el biofertilizante fue mayor que el resto de los tratamientos (Figura 1C). Con respecto al peso seco y fresco, las plantas de brócoli tratadas con ambos fertilizantes no mostraron diferencias significativas (Figura 1D). Similarmente, se observó que los floretes derivados de plantas con aplicación de biofertilizante a base de suero lácteo mostraron diámetros de floretes mayores en un 42% y 29% en relación con el tratamiento control y fertilizante comercial, respectivamente (Figura 1E). Se observó un efecto significativo en el peso fresco de floretes de plantas tratadas con el biofertilizante, estos aumentaron 63% con respecto al tratamiento control, y 31% con respecto a plantas tratadas con el fertilizante comercial (Figura 1F). En cuanto al rendimiento de brócoli por hectárea, las plantas de brócoli tratadas con el biofertilizante a base de suero produjeron 11.63 ton/ha, seguido de plantas tratadas con el fertilizante comercial con 10.84 ton/ha (7% menor que el rendimiento con el biofertilizante), y finalmente el rendimiento en plantas controles fue de 10.62 ton/ha (9% menor al obtenido con el biofertilizante). Las aplicaciones de biofertilizantes a base de suero láctico son carentes. Sin embargo, existen biofertilizantes a base de microorganismos que fermentan nutrientes similares a los contenidos en el suero láctico. En ese sentido, biofertilizantes a base de *Azotobacter*, fueron aplicados a cultivos de brócoli, encontrando un aumento en la longitud axial y longitudinal de las hojas del cultivo. Asimismo, las plantas aumentaron el largo y ancho del tallo, y el número de hojas [12]. Esos parámetros físicos se presentaron de una manera similar en este estudio, ya que la aplicación del biofertilizante a base de suero lácteo tiene la capacidad de promover el crecimiento de hojas, tallos y raíces, así como el diámetro y peso de floretes de brócoli. Sin embargo, se ha potenciado el efecto en parámetros de crecimiento con biofertilizantes adicionando fitohormonas y microorganismos en conjunto. Por ejemplo, se aplicó un biofertilizante con una fitohormona como ácido giberélico y *Azotobacter* en cultivos de brócoli [13], se encontró que este biofertilizante promovió el crecimiento axial y longitudinal de las hojas con valores de 22.27 y 47.93 cm, respectivamente, valores mayores a los reportados a los de este estudio, así como longitud de tallo de 57.5 cm, valores semejantes a los que se encontraron en este estudio con la aplicación del biofertilizante a base de suero lácteo. Por otra parte, cultivos de brócoli suplementados con un biofertilizante a base de micorrizas [14], fueron capaces de promover un aumento en el número de hojas, un efecto similar a los datos presentados a los de este estudio. Finalmente, también se reportó el efecto de cuatro biofertilizantes a base de algas marinas, contrastado con un fertilizante a base de fósforo en el rendimiento final de brócoli. La aplicación del biofertilizante produjo rendimientos de 11.5 ton/ha, similar al fertilizante a base de fósforo con rendimientos de 11.23 ton/ha [15], estos resultados son semejantes a los obtenidos en este estudio, ya que plantas de brócoli tratadas con biofertilizante a base de suero lácteo produjeron 11.6 ton/ha.

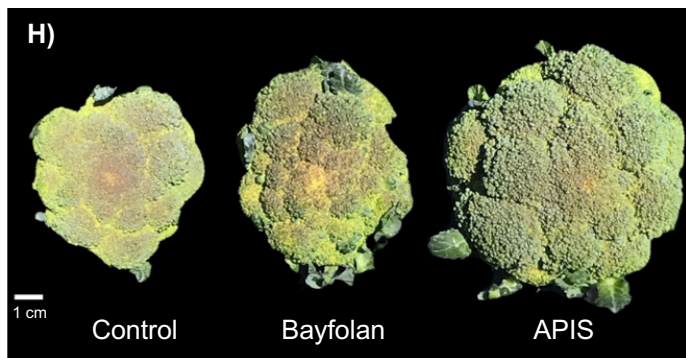
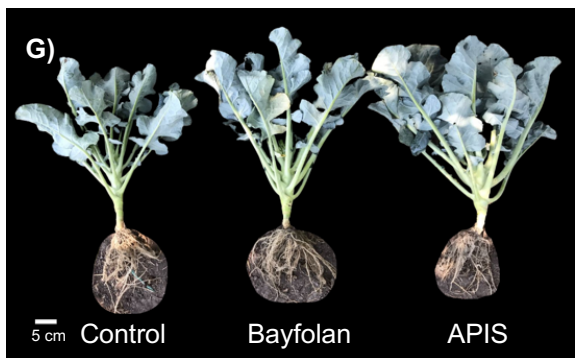
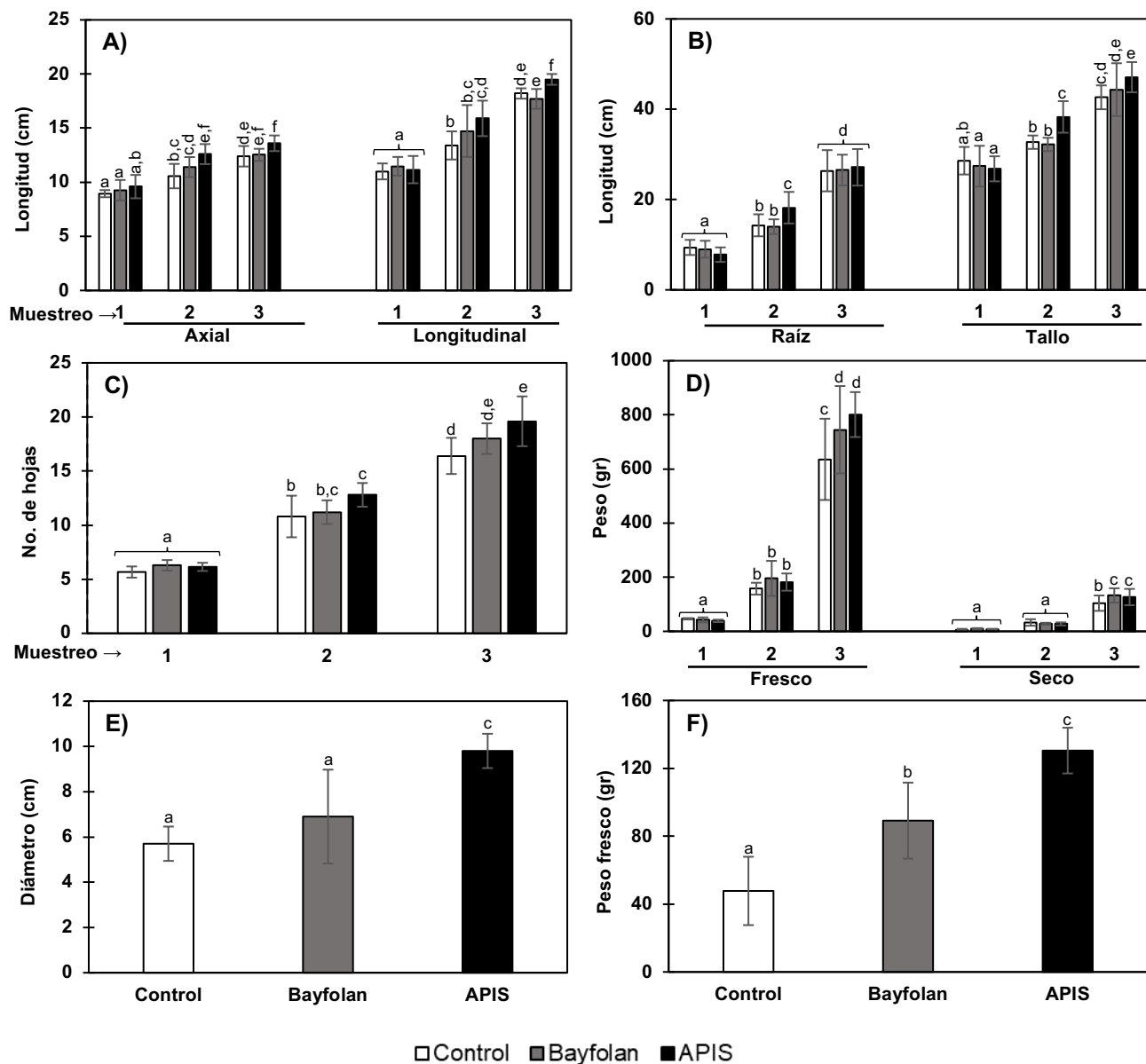


Figura 1 Parámetros físicos en plantas y floretes de brócoli. A) Longitudes axial y de hoja. B) Longitudes de la raíz y del tallo. C) Número de hojas. D) Peso fresco y seco. E) Diámetro de floretes. F) Peso fresco de floretes. G) Plantas de brócoli en el tercer muestreo. H) Floretes de brócoli en el tercer muestreo. Las barras indican el promedio de la desviación estándar ($n = 15$) y las letras indican las diferencias significativas entre cada grupo ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba Fisher.

Carga microbiana en hojas de brócoli

Las hojas de plantas de brócoli tratadas con el biofertilizante a base de suero lácteo presentaron menor carga bacteriana, en cambio, las hojas de plantas control y tratadas con fertilizante comercial, presentaron cargas bacterianas similares (Figura 2A y 2C). Con respecto a la cuantificación de hongos en las hojas tratadas con biofertilizante lácteo, se encontró mayor cantidad de hongos en el primer muestreo, y menores en el control y aplicación de fertilizante comercial (Figura 2B y 2D). Una posible explicación de la nula carga bacteriana podría ser que el biofertilizante tiene un efecto de activación en los sistemas de defensa de la planta contra bacterias. Mientras que la alta presencia fúngica puede ser debida a la naturaleza del biofertilizante, el cual está formulado a base de levaduras; las cuales potencialmente no son dañinas para las plantas de brócoli y por esa razón se observa un incremento en la concentración de hongos.

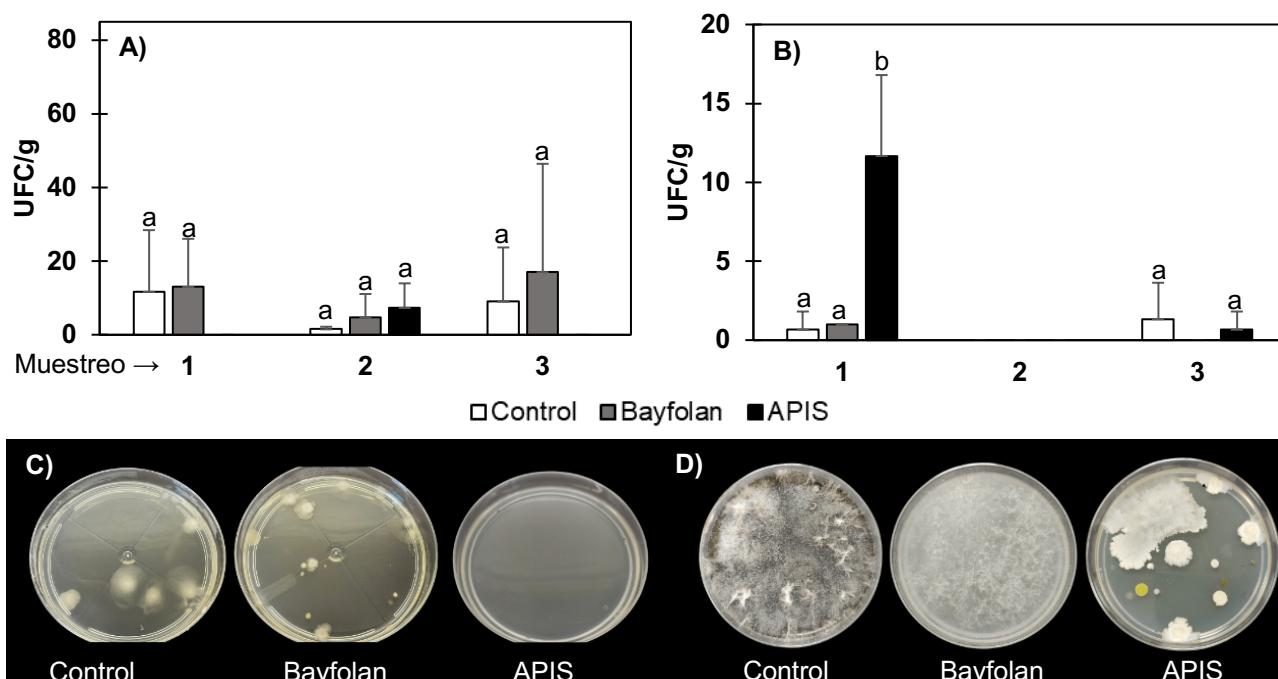


Figura 2 Carga microbiana en hojas de brócoli. A) Cuantificación de bacterias y B) Hongos. C) Placas de agar nutritivo y D) PDA con bencilpenicilina después de ser sembradas con extractos del tercer muestreo. Las barras indican el promedio de la desviación estándar (n = 5) y las letras indican las diferencias significativas entre cada grupo ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba Fisher.

Parámetros elementales

Se determinó el porcentaje elemental en las hojas de brócoli tratadas con el biofertilizante a base de suero lácteo, fertilizante comercial y control. En los resultados obtenidos para el carbono (C) (Figura 3A) e hidrógeno (H) (Figura 3B) no hubo diferencias significativas entre ambos elementos. Con respecto a los análisis del nitrógeno (N), en plantas control, estas obtuvieron el valor más alto (4.93%) en el primer muestreo con respecto a los tratamientos con ambos fertilizantes, el biofertilizante a base de suero lácteo mostró tener un comportamiento similar al del fertilizante para los primeros dos muestreos y similar a la del control (Figura 3C). Por último, el porcentaje más alto del elemento azufre (S), se presentó en el tratamiento control del primer muestreo (1.02%), así como el fertilizante comercial y el biofertilizante tuvieron porcentajes similares durante los 3 muestreos (Figura 3D). El contenido de estos elementos ha sido poco reportado para brócoli. Sin embargo, para *Brassica juncea*, una planta del mismo género, sin el uso de fertilizantes, se han encontrado concentraciones de C de 34.2-42.5 %, para el H un valor de 8.16%, N de 3.56-7.05% y para S entre 0.03-0.8% [16] [17], estos valores están en los rangos encontrados en este estudio.

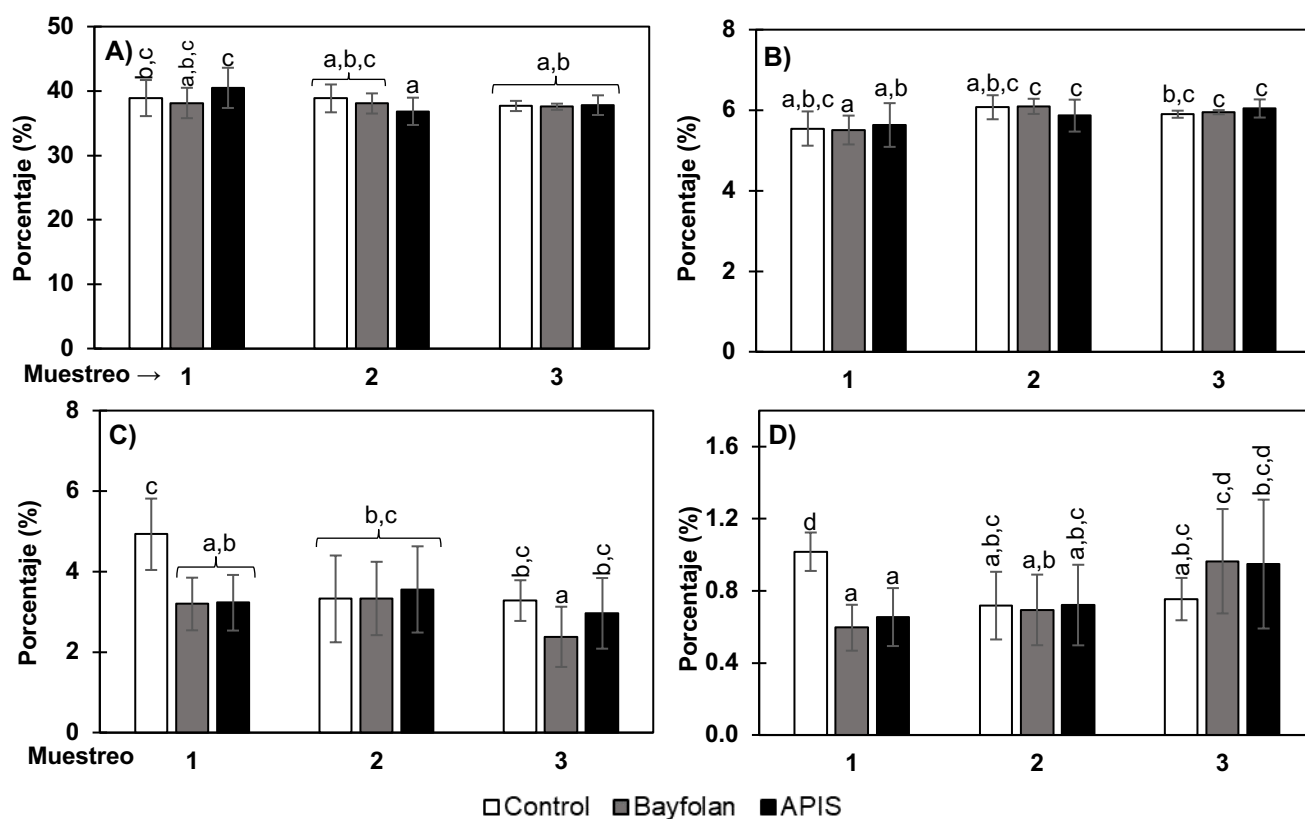


Figura 3. Parámetros elementales. A) Carbono. B) Hidrógeno. C) Nitrógeno. D) Azufre. Las barras indican el promedio de la desviación estándar (n = 3) y las letras indican las diferencias significativas entre cada grupo (p < 0.05) de acuerdo con la prueba Fisher.

Trabajo a futuro

El uso de APIS® biofertilizante no está restringido a monocultivos, y puede ser aplicado a otros de interés agronómico. Además, se necesitan analizar diferentes biomarcadores como clorofila y parámetros de estrés, con el fin de ampliar el conocimiento si el biofertilizante, tiene un efecto positivo a nivel molecular en aumentar nutrientes en frutos y semillas de las plantas tratadas.

Conclusiones

El biofertilizante a base de suero lácteo puede ser utilizado en campos de cultivo de brócoli de manera rutinaria, ya que mostró tener un efecto similar con el fertilizante comercial en cuanto a promover el número de hojas, y biomasa de la planta. Adicionalmente, APIS® Biofertilizante mejoró la longitud del tallo, aumento el crecimiento de la planta en un 7.0% con respecto al fertilizante comercial. En floretes tratados con el biofertilizante, aumentó 31% y 29% el diámetro y peso, respectivamente. La aplicación del biofertilizante aumentó el rendimiento de brócoli/ha en un 7.0% en comparación con el fertilizante comercial. Por otro lado, el biofertilizante APIS es 60% más económico que la marca comercial, y al mismo tiempo se aprovecha un residuo industrial altamente contaminante, resultando una opción de menor costo para los agricultores y sin causar daño al medio ambiente.

Agradecimientos

Agradecemos al Instituto de Innovación, Ciencia y Emprendimiento para la Competitividad del Estado de Guanajuato (IDEA-Gto.) por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo, mediante la convocatoria ciencia productiva (IDEAGTO/CONV/049/2021). De igual forma, agradecemos a la empresa APIS® Biofertilizante, por la colaboración en este proyecto, proporcionando el biofertilizante a base de suero lácteo.

Referencias

- [1] G. del E. de Guanajuato, "Productores lecheros del país se reúnen en la Expo Lac del Bajío," 2021. [Online]. Available: [https://boletines.guanajuato.gob.mx/2021/10/14/productores-lecheros-del-pais-se-reunen-en-la-expo-lac-del-bajio/#:~:text=En Guanajuato%2C la producción de,quinto lugar a nivel nacional](https://boletines.guanajuato.gob.mx/2021/10/14/productores-lecheros-del-pais-se-reunen-en-la-expo-lac-del-bajio/#:~:text=En%20Guanajuato%20la%20producci%C3%B3n%20de,%20quinto%20lugar%20a%20nivel%20nacional)
- [2] P. López Hernández, "Diagnóstico de la Producción del Suero en las Empresas de Lácteos del Estado de Guanajuato," *Medio Ambiente Capacitación y Consultoría*, no. 462, pp. 1–418, 2002.
- [3] E. Valencia and L. Ram, "La industria de la leche y la contaminación del agua," *Elementos*, vol. 16, pp. 27–31, 2009.
- [4] K. Andrés, O. Méndez Escuela, A. Panamericana, and Z. Honduras, "Efecto de la aplicación de suero ácido de leche en la producción de lechuga (*Lactuca sativa L.*)," 2018.
- [5] L. Thomas and I. Singh, "Microbial Biofertilizers: Types and Applications," pp. 1–19, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-18933-4_1.
- [6] L. Martínez *et al.*, "Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays L.*) en Villaflores, Chiapas, México," *Siembra*, vol. 5, no. 1, pp. 26–37, 2018.
- [7] O. de las N. U. para la A. y la Agricultura, "El mercado mundial de fertilizantes: balance de la situación de un mercado en dificultades," pp. 2–9, 2022.
- [8] W. Guerrero, C. Gómez, C. González, and J. Castro, "Lactosuero y su Problemática en el Medio Ambiente," *XI Congr. Nac. Cienc. y Tecnol. Aliment.*, pp. 1–6, 2018, [Online]. Available: https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/3671/%0Ahttp://uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_MicroAlim/Javier_Castro/10.pdf
- [9] J. R. Rivera, "Dinámica de minerales y bacterias ácido lácticas en biofertilizantes líquidos desarrollados con recursos del trópico húmedo," 2021. [Online]. Available: <http://ri.ujat.mx/handle/20.500.12107/3513>
- [10] C. Ram, F. Le, and D. Rinc, "Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos Detección Molecular del Virus de la Hepatitis A (VHA) en Lechuga y Brócoli en el Municipio de Irpuato, Guanajuato," vol. 2, pp. 155–160, 2017.
- [11] R. Zilli, "México, quinto productor mundial de brócoli (I)," *El Economista*, 2018. <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Mexico-quinto-productor-mundial-de-brocoli-I-20180404-0116.html>
- [12] K. Meena, R.B.Ram, M. L. Meena, J. K. Meena, and D. C. Meena, "Effect of Organic Manures and Bio-Fertilizers on Growth , Yield and Quality of Broccoli (*Brassica oleracea var . i ...*)," *Chem Sci Rev Lett*, vol. 6, no. 24, pp. 2153–2158, 2017.
- [13] K. Kumari, S. K. Singh, V. Mehmi, U. Kumar, K. Kaur, and F. Sahib, "Influence of Plant Growth Regulators and Biofertilizers on Growth and Yield of Broccoli (*Brassica oleracea L. var. italica*) Under Central Region of Punjab," *Agrivays*, vol. 7, no. June, pp. 44–49, 2019.
- [14] M. H. M. Mohamed *et al.*, "Phosphorus and biofertilizer application effects on growth parameters, yield and chemical constituents of broccoli," *Agronomy*, vol. 11, no. 11, pp. 1–16, 2021, doi: 10.3390/agronomy11112210.
- [15] M. J. Soria, "Fertilización Foliar con Extractos de Algas Marinas en el Rendimiento y Calidad de de Brócoli (*Brassica oleracea L. var. Italica cv. 'Paraíso'*)," 2020.
- [16] V. P. S. and R. K. P. Mathur, E. Sharma, S.D. Singh, A.K. Bhatnagar, "Effect of Elevated CO2 on Infection of Three Foliar Diseases in Oilsed *Brassica juncea*," *J. Plant Pathol.*, vol. 95, no. 1, pp. 135–144, 2013.
- [17] D. Kapoor, A. Rattan, R. Bhardwaj, and S. Kaur, "Photosynthetic efficiency , ion analysis and carbohydrate metabolism in *Brassica juncea* Plants under cadmium stress," vol. 5, no. 3, pp. 279–286, 2016.

Cinética de degradación del petróleo crudo en la biorremediación de un suelo tropical

Y. Córdova-Bautista^{1*}, J.G. Álvarez-Ramírez¹, A.S. López-Rodríguez¹, E.E. Merodio-Morales², G. Martínez-Pereyra^{1*}

¹Laboratorio de Biotecnología, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán-Jalpa Km 1. Colonia La Esmeralda CP 86400 Cunduacán, México.

²Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México

*gabriel.martínez@ujat.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En la degradación de hidrocarburos totales del petróleo (HTP), tres cepas bacterianas hidrocarbonoclastas fueron utilizadas para evaluar la cinética de biodegradación de los HTP en suelo tropical. Se estableció un diseño experimental unifactorial de cinco tratamientos: suelo + 1% de arena + sin aire, suelo + 1% de arena + aire, suelo + 1% de arena + composta + aire, suelo + 1% de arena + composta + sin aire y atenuación natural. La cinética de degradación de los hidrocarburos fue de 1er-orden ($R^2 > 0.88$) para los tratamientos. En comparación con la atenuación natural los tratamientos con composta presentaron la mayor producción de CO_2 y la mayor tasa de degradación de 0.031 y 0.027 día⁻¹ para el tratamiento 3 y 4 respectivamente. Las bacterias fueron estimuladas por los nutrientes de la composta provocando una bioaumentación que permitió la mayor degradación de HTP en un 90%.

Palabras clave: Petróleo, biorremediación, cinética de biodegradación, respirometría

Abstract

In the degradation of total petroleum hydrocarbons (TPH), three hydrocarbonoclast bacterial strains were used to evaluate the biodegradation kinetics of TPH in a tropical soil. A one-factorial experimental design of five treatments was established: soil + 1% sand + no air, soil + 1% sand + air, soil + 1% sand + compost + air, soil + 1% sand + compost + no air and natural attenuation. The kinetics of hydrocarbon degradation was 1st-order ($R^2 > 0.88$) for all treatments. Compared to natural attenuation the compost treatments presented the highest CO_2 production and the highest degradation rate of 0.031 and 0.027 day⁻¹ for treatment 3 and 4 respectively. Bacteria were stimulated by the nutrients in the compost causing a bioaugmentation that allowed the highest TPH degradation rate of 90%.

Key words: Petroleum, bioremediation, biodegradation kinetics, respirometry

Introducción

La contaminación ambiental ha ido en aumento debido a la rápida industrialización. Entre los contaminantes que preocupan por su alta toxicidad que dañan al medio ambiente y a la salud se encuentra el petróleo. Existe una frecuente contaminación de suelos y aguas con este tipo de contaminante. Cuando el petróleo se derrama en los suelos este se adhiere a las arcillas y partículas del suelo impidiendo el movimiento de iones, lo que afecta a la microbiota del suelo y a la cobertura vegetal. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) reportó que el suelo está degradado en un 26% debido a gran número de factores, entre los que se encuentran los contaminantes orgánicos derivados de la industria del petróleo [2]. Los derrames de hidrocarburos no solo afectan el medioambiente, también tiene impacto en la economía y en la salud pública. Por eso, se han desarrollado diversas tecnologías a fin de recuperar sitios contaminados tales como [3]: electrorremediación, lavado, solidificación/estabilización, vitrificación, desorción térmica, y biorremediación. En esta última la rehabilitación del suelo contaminado se realiza mediante procesos

microbianos, en donde las actividades metabólicas de ciertos microorganismos permiten la transformación de los contaminantes a productos metabólicos inocuos [4]. Los microorganismos que se emplean puede ser organismos autóctonos del sitio contaminado o de otros sitios (exógenos). La biorremediación es considerada eficaz y fiable debido a sus características ecológicas. Además el tratamiento puede realizarse in situ o ex situ, en condiciones aerobias o anaerobias. Los procesos de biorremediación se han usado con éxito para tratar suelos, lodos y sedimentos contaminados con hidrocarburos del petróleo. Sin embargo, es importante mencionar que el éxito de la biorremediación dependerá de las características fisicoquímicas del suelo a tratar. Estudiar la eficiencia del proceso mediante la cinética de degradación del contaminante ha permitido desarrollar tecnologías eficientes en procesos por lotes para tratamiento de aguas [5, 6]. Pero existen pocos estudios que reporten la degradación del contaminante considerando la cinética de degradación del hidrocarburo en suelos. Es por eso que el objetivo de este trabajo fue evaluar la cinética de de degradación de los HTP entre las diferentes opciones de tratamiento y comparar la tasa de degradación para seleccionar el tratamiento adecuado.

Metodología

Diseño experimental

Cinco tratamientos se establecieron bajo un diseño experimental unifactorial completamente aleatorizado por triplicado y la concentración de petróleo en el suelo de estudio fue de 10 000 ppm de HTP (Tabla 1). Cada unidad experimental se consistió en una celda rectangular de plástico (15 cm de altura, 2 cm de base y 10 cm de ancho) con una masa de trabajo de 1 kg de suelo (figura 1). El suelo utilizado se esterilizó a calor húmedo en autoclave a 1.3 kg cm^{-2} durante 3 horas y el recipiente de plástico se esterilizó con alcohol etílico al 98 %. Se adicionó agua destilada estéril en cada unidad experimental para alcanzar la humedad al 40%. Y a cada tratamiento se adicionaron 6 mL de inóculo del consorcio de tres cepas bacterianas hidrocarbonoclastas obtenidas del cepario del laboratorio de biotecnología. Las variables evaluadas fueron el pH de acuerdo a la NOM-021-RECNACT-2000 con el procedimiento AS-02 [7], la concentración de CO_2 para monitorear la actividad microbiana y la concentración de HTP (ppm).

Tabla 1. Descripción de los tratamientos de biorremediación en suelos con petróleo

Tratamiento	Composición
Trat 1	Suelo + 1% de arena + sin aire
Trat 2	Suelo + 1% de arena + aire
Trat 3	Suelo + 1% de arena + composta + aire
Trat 4	Suelo + 1% de arena + composta + sin aire
Trat 5	Atenuación natural

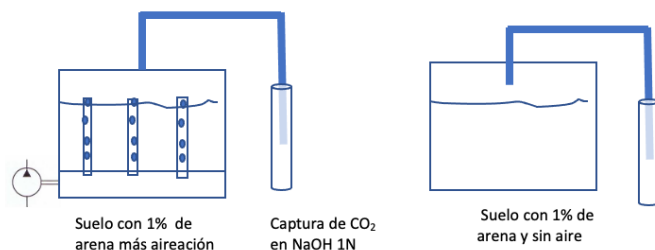
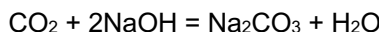


Figura 1. Esquema de tratamiento para la biorremediación

Actividad microbiana por respirometría

La concentración CO_2 generada por los microorganismos se midió cada 72 horas y se realizó mediante el método de incubación en medio cerrado, donde el CO_2 fue capturado en 5 mL de NaOH 1N [8]. La producción de CO_2 se estimó mediante titulación con HCl 0.1N, en presencia de tres gotas de fenoftaleína al 1% y 3mL de

BaCl₂ al 2%. El BaCl₂ se utilizó para la precipitación de los carbonatos. El CO₂ liberado durante la respiración aerobia es una medida del índice de la tasa de respiración. La reacción con la cual el CO₂ se capturó es:



La cantidad de CO₂ adsorbido es equivalente a la cantidad de NaOH consumido. Para determinar la concentración de CO₂ se precipitó el carbonato (CO₃²⁻) con BaCl₂ se tituló el remanente y se calculó con la siguiente ecuación:

$$R = (B - M)NE \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

R = respiración microbiana en mg de CO₂, B = volumen de ácido necesario para titular el NaOH en el blanco (mL), M = cantidad de ácido necesaria para titular el NaOH de la muestra (mL), N = normalidad del ácido y E = peso equivalente del CO₂.

Análisis de HTP por espectrofotometría

La degradación de HTP se midió durante 30 días utilizando la técnica de Vu-Duc et al. [9], para la extracción de los HTP se tomaron 5 g de muestra de suelo y se le adicionaron 20 mL de hexano, después se llevó al sonicador donde se mantuvo por 20 minutos. Seguidamente, se filtró con papel whatman 40 y se pipetearon 5 mL que se aforaron a 10 mL. Después se midió la absorbancia a 400 nm, a la vez se preparó una curva de calibración ($Abs = 0.0028 \text{ HTP}_{(ppm)} + 0.004$, $R^2 = 0.99$) para estimar la concentración de la muestra problema y después se calculó la concentración de HTP (ppm) con la siguiente ecuación:

$$\text{HTP} = \text{HTP}_{(ppm)} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \frac{0.02 \text{ L}}{0.005 \text{ kg}} * \frac{0.01 \text{ L}}{0.005 \text{ L}} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$\text{HTP}_{(ppm)}$ es la concentración de la muestra problema estimada de la curva de calibración.

Cinética de degradación de HTP

Los modelos cinéticos son usados para determinar la importancia de las relaciones entre variables para guiar el diseño de los experimentos y son una herramienta útil para la predicción de procesos activos de biorremediación tanto en sistemas aerobios como anaerobios [5]. Para el análisis de los datos correspondientes a la remoción del contaminante se utilizaron los siguientes modelos cinéticos: ecuaciones de cero, primer y segundo grado.

$$\text{HTP}_t = \text{HTP}_0 - k_0 t \quad \text{Ec. 3}$$

El valor de k_0 se obtuvo al graficar HTP_i versus el tiempo t y el valor de K_0 se tomó de la ecuación 3 (la ecuación ajustada).

$$\text{HTP}_t = \text{HTP}_0 e^{-k_1 t} \quad \text{Ec. 4}$$

El valor de k_1 se obtuvo al graficar $(\ln \text{HTP}_i)$ versus el tiempo t y el valor de k_1 se toma de la ecuación 4.

$$\frac{1}{\text{HTP}_i} = \frac{1}{\text{HTP}_0} + k_2 t \quad \text{Ec. 5}$$

El valor de k_2 se obtiene al graficar $(1/\text{HTP}_i)$ versus el tiempo t y el valor de K_2 se obtiene de la ecuación 5. El valor de k_2 puede obtenerse de la ecuación ajustada.

Donde, HTP_t es la concentración de hidrocarburos (ppm) en el tiempo t , HTP_0 es la concentración inicial de hidrocarburos en el tiempo cero, K_0 es la constante de degradación o tasa de degradación de cero orden en (ppm)*t, k_1 es la tasa de degradación de primer orden dada en $1/t$ y k_2 es la tasa de degradación de segundo orden dada en $(1/\text{ppm}^2 \cdot \text{t})$ y t es el tiempo dado en días, horas o segundos.

Resultados y discusión

El pH juega un papel imprescindible en el proceso de degradación del contaminante ya que valores por encima o por debajo del pH apropiado pueden inhibir la actividad enzimática [10]. La figura 2 muestra el comportamiento del pH con respecto al tiempo. Debido a las diferentes condiciones de cada tratamiento, el pH en un principio fue variable, pero durante el proceso de biorremediación este se fue estabilizando en alrededor de 7.5 hasta los 60 días del proceso.

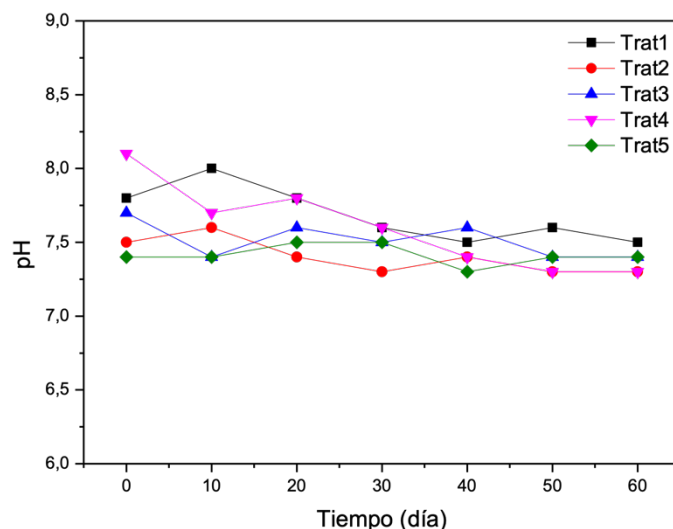


Figura 2. Variación del pH en los diferentes tratamientos

En la figura 3 se muestra el desprendimiento de CO_2 acumulados durante 70 días del bioensayo, la producción de CO_2 es un indicativo de la actividad metabólica de los microorganismos. La combinación en los tratamientos presentó efecto en la variación de la producción de CO_2 . En los tratamientos 3 y 4 se registró la mayor producción de CO_2 (~170 mg), este comportamiento puede ser atribuido a la adición de la composta, ya que posiblemente los ácidos húmicos y los nutrientes disponibles fueron utilizados por las bacterias degradadoras de petróleo aumentando su población. La menor concentración de CO_2 se encontró en el tratamiento 5 que fue la atenuación natural.

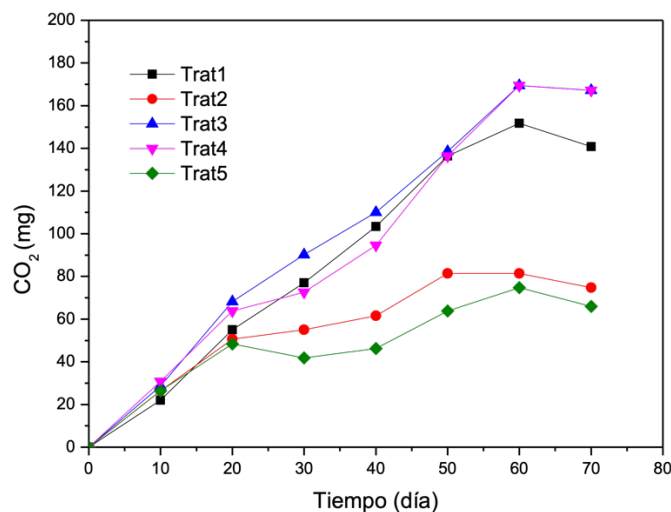


Figura 3. Producción acumulada de CO_2 (mg) durante 70 días para los tratamientos de biorremediación

En este estudio, la cinética de biodegradación de los hidrocarburos totales del petróleo se evaluó utilizando las tasas de primer orden obtenidas a partir de las gráficas lineales de LN (HTP) usando la ecuación 4. Los modelos de cero y segundo orden se consideraron no adecuados ya que los coeficientes de correlación (R^2) resultaron menores a 0.8. Para los tratamientos 1, 2, 3, 4 y 5 el R^2 fue de 0.85, 0.94, 0.94, 0.88 y 0.93, respectivamente. Esto indica que el ajuste es adecuado ya que el modelo explica más del 85% del comportamiento de la variable dependiente. La mayor tasa de degradación de 0.03 día^{-1} se presentó en el tratamiento 3, seguido del tratamiento 4 con una tasa de degradación de 0.027 día^{-1} . La única diferencia en estos tratamientos fue el aire, así que la adición de composta fue el factor que tuvo un efecto positivo en acelerar la degradación del hidrocarburo del suelo, esto pudo ser debido a que se bioaumentó la población microbiana degradadora de petróleo. Estudios similares en el que utilizaron bacterias aisladas de sedimentos con petróleo aledaños de una refinería, reportaron tasas de degradación de petróleo medio líquido de 0.038 día^{-1} , utilizando el modelo de Monod que es de primer orden [10]. Sarioglu M. and Begun [5] demostraron que la cinética de degradación de un contaminante dependerá de la naturaleza del mismo y de las condiciones a la que es sometido el proceso. Ellos reportaron que para un sistema por lotes como es el caso de este trabajo los modelos cinéticos de primer orden son los adecuados y pueden ser útiles para escalar el proceso.

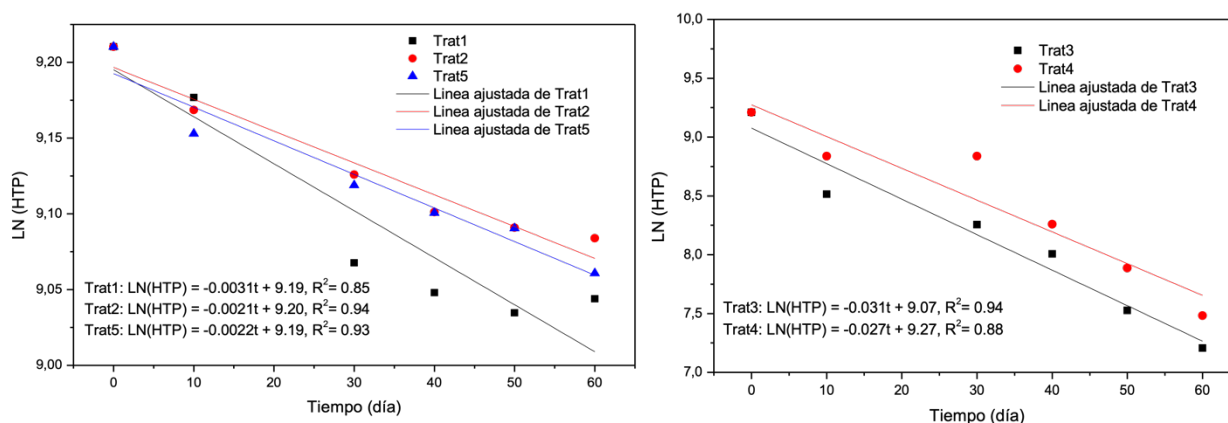


Figura 4. Cinética de 1er-orden para la degradación de HTP bajo diferentes tratamientos durante 60 días.

Trabajo a futuro

Para el tratamiento que presentó la mayor tasa de degradación se propone evaluar el efecto de la temperatura el pH y la cantidad de composta para mejorar el proceso de degradación.

Conclusiones

La cinética de degradación de HTP siguió una cinética de degradación de 1er-orden y la tasa de degradación de los HTP esta influenciada por la adición de composta en un suelo tropical ya que posiblemente los ácidos húmicos de esta causan un aumento en la actividad microbiana medida en producción de CO_2 . Para un tiempo de 60 días el tratamiento con la combinación Suelo + 1% de arena + composta + aire presentó la mayor tasa de degradación (0.03 día^{-1}) con producción de CO_2 de $\sim 170 \text{ mg}$ con un pH estable de ~ 7.5 .

Agradecimientos

Al laboratorio de biotecnología de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por el acceso y apoyo para realizar los análisis fisicoquímicos y biológicos.

Referencias

- [1] Álvarez-Jiménez M.F. Alor-Chavez M.J., Morales-Bautista C.M., Méndez-Olán C., Lobato-García C.E., "Evaluación del suelo contaminado con hidrocarburo e intemperizado en Cardenas, Tabasco," *Journal of basic Sciences*, vol. 5, no. 15, pp. 27-38, 2019.
- [2] FAO and UNEP. *Global assessment of soil pollution: Report*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4894en>. 2021
- [3] Saini A., Nega Bekele D., Chadalavada S., Fang C., Nadiu R., "A review of electrokinetically enhanced bioremediation technologies for PHs," *Journal Environmental Sciences*, vol. 88, pp. 31-45, 2020.
- [4] Ogbeh G.O., Tsokar T.O., Salifu E., " Optimization of nutrients requirements bioremediation of spent-engine oil contaminated soils," *Environmental Engineering Research*, vol. 24, no. 3, pp. 484-494, 2019.
- [5] Sarioglu M. and Begun O., " Treatment of automotive industry wastewater using anaerobic batch reactors : The influence of substrate/inoculum and molasses/wastewater," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 102, pp. 648-654, 2016.
- [6] Córdova B.Y., Paraguay-Delgado F., Pérez-Hernández G., Martínez-Pereyra G., Ramirez.Morales E. " Influence of external resistance and anodic pH on power density in microbial fuel cell operated with *B. subtilis* BSC-2 Strain," *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 16, no 2, pp. 1983-1997, 2018.
- [6] DOF. NOM-021-RECNAT-2000, " Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Segunda sección," 2002.
- [7] Tapiero J., Piñeros R., Holguin V.A., "¿Cómo la respirometría puede indicar una reducción de la biomasa microbiana en ensilajes?," *Agroforestería Neotropical*, vol. 4, pp. 72-78, 2019.
- [8] Vu-Duc T., Huynh C.K., Lafontaine M., Bonnet P., Binet S., " A spectrometric method for the determination of organic soluble matter in bitumen fumes," *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 17, no. 7, pp. 495-500, 2002.
- [9] Madigan, M. T., Martinko, M. J., Dunlap, P. V., Clark, D. P.E., " Brock Biology of Microorganisms," 12 Ed. Pearson Higher, España., 2017.
- [10] Chettri, B., Singha, N.A. & Singh, A.K. "Efficiency and kinetics of Assam crude oil by *Pseudomonas aeruginosa* an *Bacillus* sp.," *Arch Microbiol*, vol. 203, pp. 5793-5803, 2021.

Análisis del proceso de agitación en tanques cerrados como parte de los equipos de proceso

Mayra Agustina Pantoja Castro¹, Alicia Sosa Medina², Ebelia del Ángel Meraz¹, Alida Elizabeth Cruz Pérez¹,
Francisco López Villarrea²

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco,² Instituto Tecnológico de Villahermosa

² iq.pacolopez@hotmail.com

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Los procesos industriales requieren del correcto funcionamiento de sus operaciones, lo anterior garantiza que el producto cumpla con los requerimientos del producto en los tiempos y costos que se requieren. Uno de estos procesos es el de agitación que ocurre en los tanques como parte de los equipos de proceso y que la potencia del agitador en caso de que esta ocurra de forma mecánica se debe analizar lo cual puede realizarse directamente durante el proceso o bien a través de simuladores. En este trabajo se ha desarrollado una suite para analizar el proceso de agitación en tanque de proceso, para su diseño se utilizó Visual Basic desde Excel® generado la interfaz y programando todas las ecuaciones que se requieren. Una vez obtenida la suite se analizó un caso y se comprueba que esta funcionando de forma correcta ya que los resultados concuerdan con los esperados reportados en otras trabajos.

Palabras clave: agitador, interfaz, simulación, visual basic.

Abstract

All processes at the industry require the proper functioning of their operations, correct operation guarantees that the product have the requirements in times and costs needed. One of these processes is agitation that occurs in the tanks open, partially closed o closed, and the power of the agitator when mechanically is used is interesting to be analyzed, which can be done directly during the process or through the use of simulators. In this work, a suite has been developed to analyze the agitation process in a process tank. This suite was designed using Visual Basic from Excel®, starting with generating of the interface and programming all equations that are required. Once the suite was obtained, a case was analyzed and it was verified that it is working correctly since the results agree with those expected reported in other works.

Key words: agitation, interface, simulation, visual basic.

Introducción

La evolución en todos los procesos industriales ha ido también de la mano con el diseño y análisis de todos los equipos de proceso en los cuales es importante considerar todas las variables y medidas de seguridad para garantizar procesos confiables con las características deseadas del producto [1].

Los tanques como equipos de proceso pueden ser de tipo abierto, semiabierto o completamente cerrados depende del tipo de proceso que se tenga, en el caso de la última clasificación generalmente no es posible ver que ocurre adentro, se espera que este funcionando de forma correcta, en este sentido también se tienen corrientes que deben ser mezcladas y el proceso de agitación representa una de las muchas variables a considerar siendo de interés el que ocurre en los tanques de proceso.

En este caso los procesos de agitación pueden darse de forma radial, axial, por mencionar algunos de ellas. Otra de las características que se deben considerar son las propiedades de los fluidos (viscosidad, densidad) además del tipo de régimen, la geometría del equipo. De tal forma que un agitador para fluidos se puede utilizar para diferentes objetivos al mismo tiempo (mezclar, dispersar un gas en un líquido, etc), pero se tendrá una dependencia de las características mecánicas de éste [2-3].

Si bien los proveedores de los equipos en algunos casos pueden comentar la forma de operar correcta la simulación de estos procesos es otra herramienta a utilizar muy útil, de esta forma se pueden estudiar los procesos que ya se tienen de forma rápida, integral y a bajo costo, cuando se utilizan modelos matemáticos correctos se pueden generar extrapolaciones de resultados más allá de las condiciones de operación, es posible que se creen comparaciones meticulosas y rápidas entre los procesos para modificarlos si es necesario, se pueden llegar controlar factores que pueden afectar al modelo matemático seleccionado, o bien estudiar parámetros relevantes del sistema. El uso de los simuladores también ha ido en crecimiento apoyados del uso de software o de herramientas para resolver un problema en particular o representar mediante un equipo o etapa como se está comportando un proceso.

En este sentido el costo de ellos se ha incrementado lo que en ocasiones puede llegar a ser una desventaja para las instituciones, una forma alterna es el uso de la creación de programas alternos para modelar o representar los procesos incluyendo todas las ecuaciones y variables necesarias. Una alternativa es el uso de Visual Basic, una herramienta que se encuentra en Excel®, no tiene costo y es fácil programar en ella [4-6].

En este trabajo se diseñó y programo una suite en Visual Basic para analizar cómo se comporta la potencia de un agitador y el calor transferido en un tanque de proceso agitado acoplado un cuadro de ejecución insertado en una hoja de Excel, y que permite acceder directamente a la suite, la cual puede realizar cálculos al variar cada una de las variables indicadas (características del fluido y tanque). Se analizó un caso y se corrobora que la suite está funcionando de forma correcta.

Metodología

Materiales

Para iniciar con el análisis del proceso de agitación se llevó a cabo la construcción de una interfaz para representar diferentes condiciones de operación y comparar cómo se comporta el equipo.

Se trabajo en Excel® activando la opción de desarrollador para poder acceder a Visual Basic, la herramienta usada para realizar la macro, realizar la interfaz y programar cada una de las ecuaciones que representan el problema básico de agitación.

En Visual Basic todo se encuentra en blanco (Figura 1) por lo se debe iniciar con construir primero la interfaz y después ir programando como se desea que funcione, en esta interfaz se utilizaron botones como cuadros de texto para poder incorporar los datos de entrada y salida, también se usaron botones de comando para programar las acciones apoyados de otros botones.

Una vez creada la primera interfaz se diseña la suite que es un conjunto de interfaces y en cada una de ellas se lleva a cabo un conjunto de acciones, es así como en la primera interfaz se ha programado la portada, mientras que en la segunda y tercera el ingreso de los datos (propiedades de los fluidos y del equipo), en la última interfaz se obtienen todos los cálculos, en donde además se pueden ir almacenando los resultados en una tabla de Excel esto hace que sea más fácil de capturar los datos y poder comparar sus resultados a través de gráficos que de igual forma han sido programados para que en cuento se van llenando las columnas se pueda ir mostrando el perfil correspondiente, en este caso como cambia el calor neto transferido y la potencia del impulsor al modificar la viscosidad del fluido, también es posible analizar estos mismos resultados pero al variar el diámetro del impulsor.

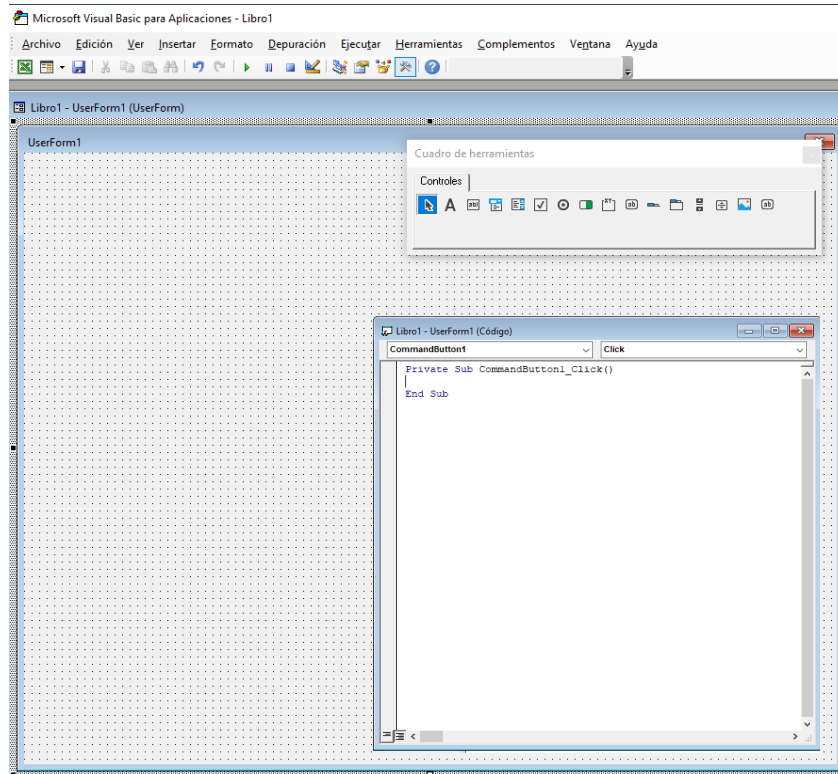


Figura 1. Área de creación de la interfaz y ventana de programación en Visual Basic.

Una vez desarrollada la suite se ha creado directamente en una hoja de Excel una macro que permite ejecutar toda la suite, esta parte es relevante porque al abrir este programa directamente se puede ejecutar el programa diseñado siendo más fácil para que un usuario lo utilice.

En las Figuras 2a,2b, 2c y 2d se muestra el diseño de las interfaces en donde se ingresan datos y al final lo anterior permite realizar los cálculos correspondientes.

En la suite se realizó la programación de las ecuaciones que permiten calcular principalmente la potencia de una turbina a partir de datos como son las propiedades del fluido, del tanque por mencionar algunos de ellos. En las ecuaciones 1 y 2 se muestran las ecuaciones básicas utilizadas para calcular la potencia:

$$\frac{N_p * R_e * D}{150 * h} = \sqrt{\frac{nDw^{-0.67}}{P(T - D - V)^{0.67}}} \quad (1)$$

$$P = N_p \rho N^3 D^5 \quad (2)$$

Donde:

N_p es el número de potencia

R_e es el número de Reynolds

D es el diámetro del impulsor (m)

ρ es la densidad del fluido (kg/m³)

h es la altura de la hoja (m)

n es el número de vueltas del impulsor

w es el ancho de la hoja del impulsor (m)

T es el diámetro del tanque (m)

V el ancho de la pared (m)

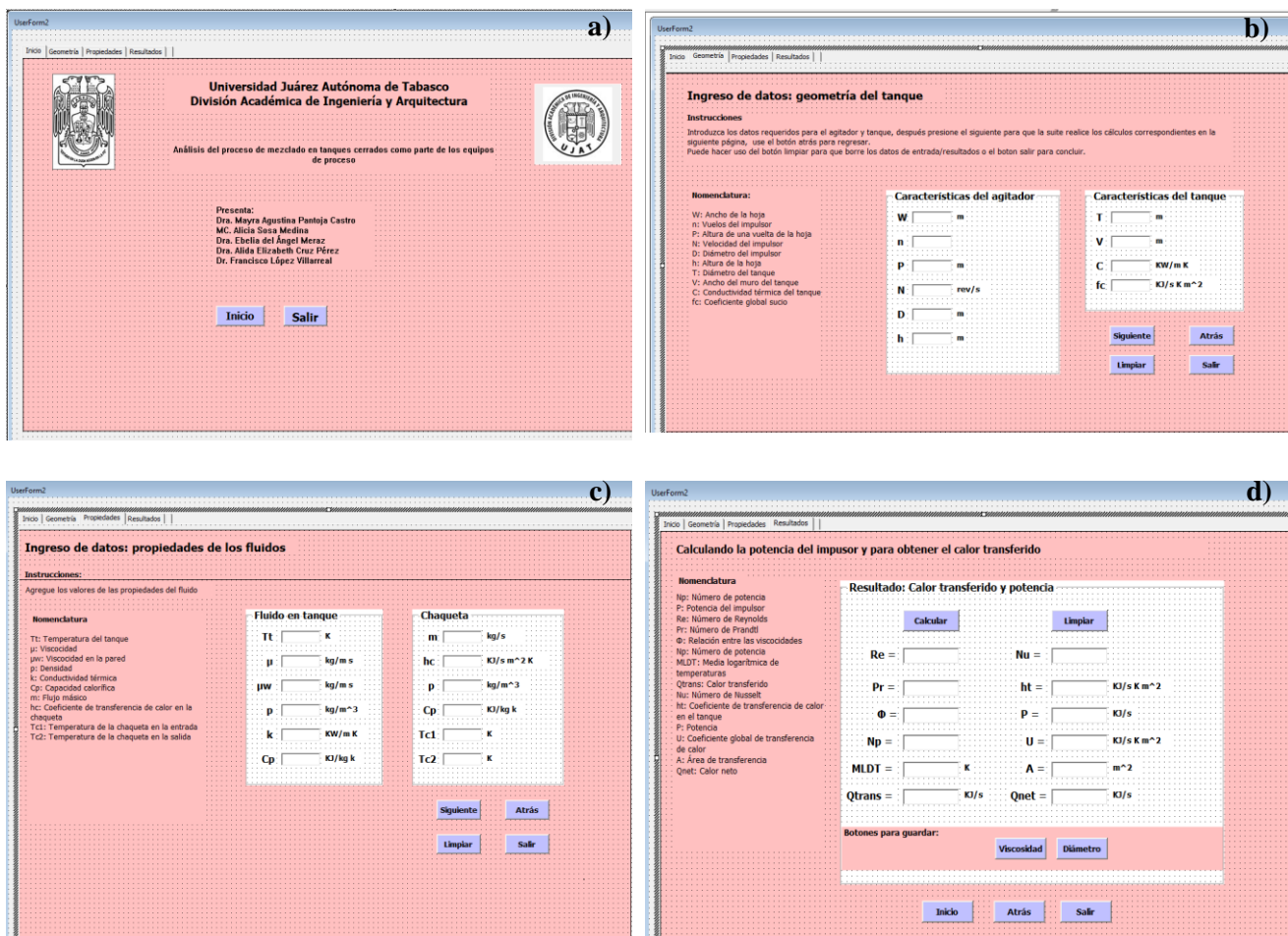


Figura 2. Suite diseñada en Visual Basic desde Excel® . a) Portada, b) ingreso de datos, c) continuación de ingreso de datos, d) resultados.

Estas ecuaciones involucran el cálculo previo del número de Reynolds, Prandtl, Nusselt, el número de potencia, el coeficiente global de transferencia de calor, la temperatura media logarítmica y calor transferido por indicar algunas ecuaciones que de forma adicional se están empleando.

En este trabajo se han programado las ecuaciones para calcular los números adimensionales de Reynolds, Prandtl y Nusselt, así como el coeficiente global de transferencia de calor, el área de transferencia, la media logarítmica de temperaturas, el número de potencia, la potencia, el calor transferido y el calor neto transferido de un tanque que tiene un

Resultados y discusión

A continuación se presentan los resultados del caso bajo estudio a partir de la suite bajo diseño en este trabajo partiendo de obtener la potencia y número de potencia de un agitador que se incorpora en los tanques en donde se tienen procesos de mezclado.

El impulsor es de tipo hélice, mientras que el tanque tiene un diámetro de 4 metros, una altura de hoja de 3.5 metros considerando un ancho de pared de 0.015 metros así como un diámetro de impulsor de 3.88 metros. Este equipo posee un agitador que tiene metros de ancho girando a 0.0833 rev/s y un pitch de 3 metros. Los datos adicionales de las propiedades del fluido se indican en la Tabla 1.

Para empezar a usar la suite primero se abre Excel® desde donde se dio clic en el botón llamado calcular, el cual permite el acceso directo a la suite (Figura 3).

Tabla 1. Parámetros utilizados en el caso bajo estudio

Dato	Valor	Unidades
Temperatura del fluido al interior	485	K
Viscosidad promedio del tanque	0.01	Kg/m·s
Viscosidad en la pared del tanque	1	Kg/m·s
conductividad térmica de	0.175	W/m·K
Densidad del fluido	980	kg/m ³
Capacidad calorífica	1.85	KJ/kg·K
Conductividad térmica del tanque	18	W/m·K
Velocidad del flujo en la chaqueta	2	kg/s
Coefficiente de calor de la chaqueta	0.95	KJ/s·m ² ·K
Coefficiente sucio de transferencia	3.8	KJ/s·m ² ·K.

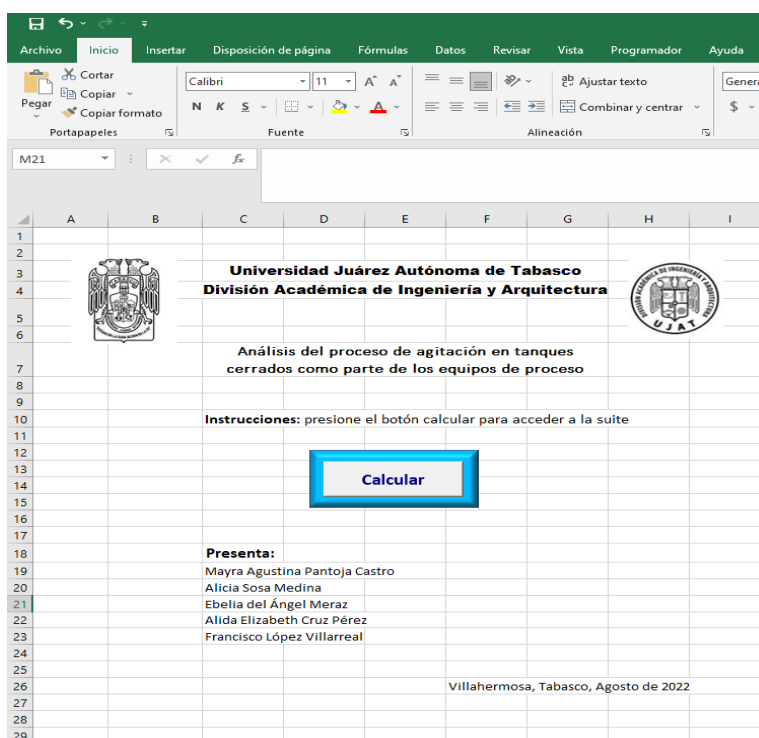


Figura 3. Presentación de inicio de la suite construida

Una vez dentro de la interfaz se agregaron los datos del problema (Figuras 4a, 4b) y se da clic en el botón siguiente en cada interfaz, o dar clic en el botón calcular (Figura 4c) en la última interfaz para obtener los resultados (Figuras 4c), los cuales se pueden ir guardando y almacenando en columnas en Excel, en donde a su vez se grafica el perfil del calor transferido y potencia del impulsor al variar el diámetro o la viscosidad del fluido (Figuras 5a y 5b), entonces a través de los gráficos se puede apreciar que con el incremento del diámetro y la viscosidad se tiene una tendencia lineal de proporcionalidad respecto a la potencia, con resultados inversos para el caso del calor transferido.

El diseño de esta suite permitió analizar cómo se comporta la agitación en un tanque de proceso [7], también se da a conocer de que forma es posible crear herramientas o módulos de simulación partiendo de las ecuaciones que modelan estos procesos vinculándolas con la programación necesaria para generarla y que puede ser de mucha utilidad para los estudiantes de ingeniería que están aprendiendo la materia de simulación o afines, ya que una vez que egresen son las competencias y habilidades que en su vida profesional pueden utilizar para un

mejor desempeño o bien apoyarse de ellas para sacar adelante un estudio en particular, sobre todo cuando no cuenten por alguna razón con el simulador requerido.

Inicio | Geometría | Propiedades | Resultados |

a) Ingreso de datos: geometría del tanque

Instrucciones
 Introduzca los datos requeridos para el agitador y tanque, después presione el siguiente para que la suite realice los cálculos correspondientes en la siguiente página, use el botón atrás para regresar.
 Puede hacer uso del botón limpiar para que borre los datos de entrada/resultados o el botón salir para concluir.

Nomenclatura:
 W: Ancho de la hoja
 n: Vueltas del impulsor
 P: Altura de una vuelta de la hoja
 N: Velocidad del impulsor
 D: Diámetro del impulsor
 h: Altura de la hoja
 T: Diámetro del tanque
 V: Ancho del muro del tanque
 C: Conductividad térmica del tanque
 fc: Coeficiente global sucio

Características del agitador

W | 0.71 | m
 n | 5
 P | 3.88 | m
 N | 0.0833 | rev/s
 D | 1.6 | m
 h | 3.5 | m

Características del tanque

T | 4 | m
 V | 0.015 | m
 C | 0.018 | KW/m K
 fc | 3.8 | KJ/s K m²

Siguiente Atrás
 Limpiar Salir

Inicio | Geometría | Propiedades | Resultados |

b) Ingreso de datos: propiedades de los fluidos

Instrucciones:
 Agregue los valores de las propiedades del fluido

Nomenclatura
 Tt: Temperatura del tanque
 μ: Viscosidad
 μw: Viscosidad en la pared
 ρ: Densidad
 k: Conductividad térmica
 Cp: Capacidad calorífica
 m: Flujo másico
 hc: Coeficiente de transferencia de calor en la chaqueta
 Tc1: Temperatura de la chaqueta en la entrada
 Tc2: Temperatura de la chaqueta en la salida

Fluido en tanque

Tt | 485 | K
 μ | 0.245 | kg/m s
 μw | 1 | kg/m s
 ρ | 980 | kg/m³
 k | 0.000180 | KW/m K
 Cp | 1.85 | KJ/kg k

Chaqueta

m | 2 | kg/s
 hc | 0.95 | KJ/s m² K
 ρ | 990 | kg/m³
 Cp | 5.22 | KJ/kg k
 Tc1 | 305 | K
 Tc2 | 373 | K

Siguiente Atrás
 Limpiar Salir

Inicio | Geometría | Propiedades | Resultados |

c) Calculando la potencia del impulsor y para obtener el calor transferido

Nomenclatura
 Np: Número de potencia
 P: Potencia del impulsor
 Re: Número de Reynolds
 Pr: Número de Prandtl
 Φ: Relación entre las viscosidades
 Np: Número de potencia
 MLDT: Media logarítmica de temperaturas
 Qtrans: Calor transferido
 Nu: Número de Nusselt
 ht: Coeficiente de transferencia de calor en el tanque
 P: Potencia
 U: Coeficiente global de transferencia de calor
 A: Área de transferencia
 Qnet: Calor neto

Resultado: Calor transferido y potencia

Calcular Limpiar

Re = 852.992 Nu = 409.0276
 Pr = 2518.0556 ht = 0.184 KJ/s K m²
 Φ = 0.245 P = 2.1862 KJ/s
 Np = 0.3681 U = 0.009 KJ/s K m²
 MLDT = 143.3214 K A = 550.9065 m²
 Qtrans = 709.92 KJ/s Qnet = 707.7338 KJ/s

Botones para guardar: Viscosidad Diámetro

Inicio Atrás Salir

Figura 4. Datos y resultados del caso analizado: a) geometría, b) propiedades, c) resultados

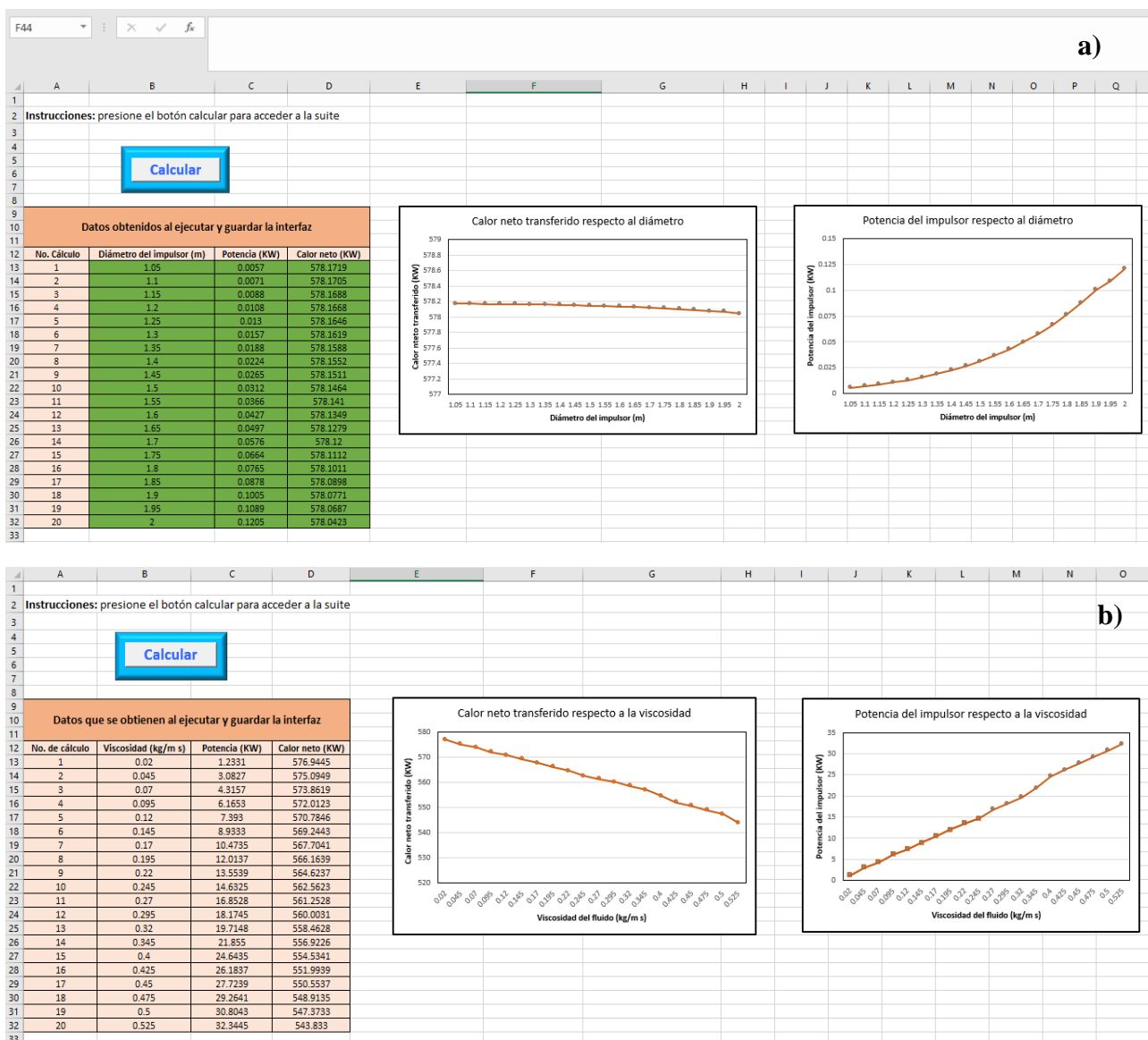


Figura 5. Resultados almacenados del caso analizado: a) variación de potencia, b) variación de la viscosidad

Trabajo a futuro

Como trabajo futuro se llevará a cabo el acoplamiento de esta suite a módulos por ejemplo de destilación para los casos o modelos más simples construyendo más interfaces junto con el código requerido para su buen funcionamiento.

Conclusiones

En este trabajo se diseñó una suite y un conjunto de interfaces acopladas para analizar el proceso de agitación en tanques de proceso empleando Visual Basic.

La suite se encuentra formada por varias interfaces las cuales permiten ingresar por medio de cuadros o cajas de texto los datos de los fluidos y del equipo indicando en cada caso las unidades a emplear, se ha agregado un botón de calcular que es donde se programaron las ecuaciones que modelan este tipo de problemas,

posteriormente los resultados se pueden visualizar en las cajas correspondientes. Con esta interfaz fue posible analizar varias condiciones de operación al variar el diámetro y viscosidad.

Este tipo de diseños además análisis proporcionan una herramienta que puede permitir tomar decisiones acordes a los parámetros que modelan este proceso con el objetivo de contar con un proceso más económico pero cumpliendo con las especificaciones del producto deseado.

Otra ventaja de diseñar este tipo de herramientas es que se tiene la oportunidad para agregar más ecuaciones y parámetros, es decir la suite puede crecer en cuanto a contenido y resolver nuevos problemas.

Es así como las nuevas tecnologías y su rápido crecimiento requieren que tanto docentes, investigadores, así como jóvenes universitarios en proceso de aprendizaje, adquieran nuevas habilidades y competencias que les serán de apoyo en diversas áreas del conocimiento, incluso desde el entorno de la ingeniería la ciencia también puede apoyarse para lograr este fin con el uso de recursos como software, hojas de cálculo o simuladores.

Agradecimientos

Los autores del trabajo agradecen a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por todas las facilidades para realizar este trabajo.

Referencias

- [1] J. Wu, L. J. Graham, B. Nguyen, M.N.N. Mehidi, "Energy efficiency study on axial flow impellers", Chemical Engineering Process, vol. 45, pp. 625-632, 2006.
- [2] H. Singh, D: F. Fletcher, J. J. Nijdam, "An assessment of different turbulence models for predicting flow in a baffled tank stirred with a Rushton turbine", Chemical Engineering Science, vol. 66, pp. 5976-5988, 2011.
- [3] M. Yoshida, M. Shigeyama, T. Hiura, K. Yamagiwa, A. Ohkawa, S. Tezura, "Liquid flow in impeller region of an unbaffled agitated vessel with un-steadily forward-reverse rotating impeller". Chemical Engineering Commuticaios, vol. 194, pp. 1229-1240, 2007.
- [4] J. Šaderová, P. Kacmary, "Application of the simulation of a tank capacity proposal for loading and unloading process of bulk material". Acta Montanistica Slovaca vo. 17, no. 3, pp.143-150,
- [5] W. Peng, T. Reviol, K. Stefan, P. Würtz, M. Böhle. "Mixing of non-Newtonian fluids in a cylindrical stirred vessel equipped with a novel side-entry propeller", Chemical Engineering Science, vol. 190 pp. 384-395, 2018.
- [6] W. Mason Burdon, K. Munro, "Simulation – is it all worth it? The impact of simulation from the perspective of accounting students". The International Journal of Management Education. vol. 15, 3, pp. 429-448, 2017.
- [7] Fuente propia.

Potencial de uso de aguas residuales en la producción de biomasa microalgal: evaluación tecno-económica

Lesli Alejandra Jiménez López¹, Moisés Abraham Petriz Prieto¹, Esveidi Montserrat Valdovinos García^{1*},
¹División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco,
Carretera Estatal Libre Villahermosa-Comalcalco Km. 27+000 s/n Ranchería Ribera Alta, C.P.86205, Jalpa
de Méndez, Tabasco, México
Correo de contacto^{1*}: esveidi.valdovinos@ujat.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Las microalgas se consideran una fuente potencial para diversos usos y aplicaciones de interés comercial, sin embargo, aún se duda de su viabilidad económica, ya que la etapa de cultivo representa elevados consumos de energía y elevados costos de producción. El objetivo del estudio fue evaluar técnica y económicamente la viabilidad de incluir agua residual proveniente de granjas porcinas en el cultivo en fotobiorreactor tubular para la producción de biomasa microalgal. Se evaluaron dos casos, en el caso A se consideró solo medio de cultivo sintético como fuente de nutrientes mientras que el caso B se consideró el uso de una mezcla de medio de cultivo sintético (25% v/v) y agua residual (75% v/v). Los resultados muestran que el uso de agua residual es favorable ya que se logra un ahorro considerable en el consumo de nutrientes lo cual se ve directamente reflejado en los costos de operación.

Palabras clave: microalgas, agua residual, evaluación tecnoeconómica.

Abstract

Microalgae are considered a potential source for various uses and applications of commercial interest, however, their economic viability is still in doubt, since the cultivation stage represents high energy consumption and high production costs. The objective of the study was to evaluate technically and economically the feasibility of including wastewater from pig farms in the cultivation in a tubular photobioreactor for the production of microalgal biomass. Two cases were evaluated, in case A, only synthetic culture medium was considered as a source of nutrients, while case B considered the use of a mixture of synthetic culture medium (25% v/v) and wastewater (75% v/v). The results show that the use of residual water is favorable since a considerable saving is achieved in the consumption of nutrients, which is directly reflected in the operating costs.

Key words: microalgae, wastewater, techno-economic evaluation.

Introducción

Recientemente la biomasa de microalgas ha recibido mayor atención debido a que se considera una materia prima con alto potencial para la producción de biocombustibles sostenibles y renovables, como biodiesel, biohidrógeno y bioetanol [1], [2]. Sin embargo, la comercialización de las microalgas sigue siendo polémica debido a factores relacionados con la viabilidad económica de los biocombustibles derivados de esta biomasa [3]. El principal inconveniente se presenta en la etapa de cultivo de las microalgas, debido al gran consumo de energía, agua fresca y nutrientes (principalmente nitrógeno y fosforo) [4], [5]. Por esta razón, los objetivos actuales de investigación referentes a este tema, se han centrado en reducir los consumos de energía, agua y nutrientes para la etapa de cultivo, además de mejorar la eficiencia de la biomasa y mantener al cultivo alejado de otros microorganismos dañinos o parásitos tanto como sea posible. Por mencionar un ejemplo, con el fin de mejorar la viabilidad económica en el proceso de producción de biomasa microalgal, y con ello lograr el aprovechamiento de las microalgas, se han buscado alternativas como integrar el uso de aguas residuales como fuente de nutrientes para el cultivo de microalgas [6] y el uso de CO₂ como fuente de carbono [5].

En condiciones de crecimiento natural, las microalgas asimilan el CO₂ del aire (contiene aproximadamente 360 ppm en volumen de CO₂); la mayoría de las microalgas pueden tolerar niveles más altos de CO₂, generalmente

hasta 150,000 ppm en volumen [7]. Una de las especies más prometedoras para la captura de CO₂ proveniente de gases de combustión es la *Chlorella* [8]. Además del carbono, el crecimiento de las microalgas requiere varios tipos de nutrientes, divididos en macronutrientes y micronutrientes. Los elementos consumidos en cantidades relativamente altas, como nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y potasio (K) se denominan macronutrientes. Su suministro al cultivo consiste en una entrada de materia prima voluminosa y podría representar una parte importante de los costos operacionales de una unidad industrial de microalgas [9]. Nutrientes como N y P son esenciales para la producción de biomasa de microalgas, debido a su participación en el metabolismo energético, teniendo una gran influencia en la composición lipídica final [10], [11]. Si bien algunas especies de algas pueden fijar en N del aire o de los gases de combustión en forma de NO_x [12], la mayoría de las microalgas lo requieren en forma soluble. Una fuente común de N y de bajo costo es el amonio, que puede ser absorbido por las microalgas fácilmente de efluentes de aguas residuales [13]. El P es un elemento esencial incluido en el ADN, ARN, ATP y en los compuestos de la membrana celular [13], por lo cual es un elemento importante en el cultivo de las microalgas. El P también se encuentra en las aguas residuales, como H₂PO₄⁻ y HPO₄²⁻ [14].

El cultivo de las microalgas se puede realizar en sistemas abiertos y en sistemas cerrados, sin embargo, son preferidos los sistemas abiertos ya que ofrecen una operación fácil y tienen un bajo costo de inversión y mantenimiento. Desafortunadamente, los sistemas abiertos son propensos a la contaminación por otra microflora que conduce a fallas potenciales del sistema y limita la difusión de CO₂ de la atmósfera, provocando bajas productividades, causando un impacto en los costos de cosecha de la biomasa [5]. Por otro lado, los sistemas cerrados son más complejos en su funcionamiento, aunque este sistema no conlleva los problemas del uso del sistema abierto y permite el crecimiento de microalgas durante períodos prolongados en condiciones mejor controladas, como pH, temperatura, luz, concentración de CO₂, depredadores de algas, acumulación de oxígeno y tasas de mezclas. Las principales ventajas de los sistemas cerrados es que pueden producir una gran cantidad de biomasa y evitar la evaporación del agua y la pérdida de CO₂ [2].

La contaminación del agua es una amenaza global que enfrentan la mayoría de los países a nivel mundial. Además de los desechos industriales y domésticos que se vierten en los ríos, también se sabe que un gran número de pesticidas ingresan al ecosistema acuático, siendo estas fuentes las causantes de mayor contaminación orgánica e inorgánica del agua. No obstante, aunque la industria porcina no es la principal fuente de contaminación del agua, esta presenta problemas ambientales y sociales debido a la contaminación que se genera de las aguas y del suelo que se encuentra a su alrededor [15]. Estos efluentes son ricos en N y P, nutrientes esenciales para el cultivo de microalgas, convirtiéndola en una fuente con potencial de uso en el cultivo. La idea del cultivo de microalgas utilizando aguas residuales, podría tener dos objetivos: 1) cumplir con los criterios que incluyen la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO), los sólidos suspendidos totales (TSS), los organismos patógenos y, por último, la concentración de N y P en las aguas residuales [16], y 2) reducir los nutrientes sintéticos necesarios para el cultivo de las microalgas.

Considerando la revisión bibliográfica, el objetivo del presente estudio fue evaluar y comparar dos modelos de producción de biomasa microalgal en sistema de cultivo cerrado (ambos fotobiorreactor tubular), en el primer caso (A) solo se consideró el uso de un medio de cultivo sintético como fuente de nutrientes, mientras que en el segundo caso (B) se consideró el uso de una mezcla de agua residual proveniente de granjas porcinas (75% v/v) con alto contenido de N y P en combinación con el medio de cultivo sintético (25% v/v). El aprovechamiento de compuestos provenientes de aguas residuales utilizados como fuente de nutrientes para el cultivo de microalgas, ofrece además la opción del tratamiento de dichos efluentes y así reducir la contaminación que estos generan [17].

Metodología

Los dos casos de cultivo (Caso A y B) se evaluaron mediante simulación de procesos, con el software para análisis de bioprocesos SuperPro Designer v10® (Intelligen, Inc., Scotch Plains, NJ, USA), ambos casos se analizaron en modo de operación continuo y el cultivo en sistema cerrado (fotobiorreactor tubular). Para la simulación del proceso de cultivo en fotobiorreactor se consideró el modelo WM aeróbico bio-oxidación incluido en el software.

En el caso A se analizó la producción de biomasa de microalgas usando solo medio de cultivo sintético como fuente de nutrientes en la etapa de cultivo; para el caso B se analizó el uso de una mezcla de medio de cultivo sintético (25% v/v) y agua residual proveniente de granjas de porcinos como fuente de nutrientes (75% v/v). Para

la selección de la relación de la mezcla medio sintético-agua residual se consideró lo reportado por Kuo et al., [18], ya que mencionan que bajo esta relación se obtiene una mayor cantidad de biomasa en el cultivo y mayores rendimientos en la producción de aceite microalgal.

Las condiciones de operación para el diseño de la etapa de cultivo se tomaron también de lo reportado por Kuo et al., [18]. Para obtener los productos deseados y lograr la máxima productividad de microalgas, es esencial prestar atención a la selección de especies o cepas adecuadas. La especie de microalga de referencia para este estudio fue *Chlorella* sp. para ambos casos analizados, el medio de cultivo sintético y la composición de las aguas residuales se reportan en la Tabla 1. Para la composición del agua residual porcina se tomaron como referencia los datos reportados por Garzón et al., [15].

Tabla 1. Composición de medio de cultivo sintético y agua residual porcina.

Medio de cultivo sintético				Agua residual porcina			
Compuesto	mg/L	Compuesto	mg/L	Compuesto	mg/L	Compuesto	mg/L
KNO ₃	1250	FeSO ₄ ·7H ₂ O	49.8	N-total	524	DQO	3478
KH ₂ PO ₄	1250	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	88.2	N-NH ₄ ⁺	200	DBO ₅	996
MgSO ₄ ·7H ₂ O	1000	MnCl ₂ ·4H ₂ O	14.4	SST	942	P-total	27.4
EDTA·2H ₂ O	500	CuSO ₄	10	SSV	2981		
CaCl ₂ ·2H ₂ O	83.5	Na ₂ MoO ₄	7.1				
H ₃ BO ₃	114.2	CoCl ₂ ·6H ₂ O	4				

Antes del cultivo de las microalgas es necesario contar con el inóculo. El tiempo considerado para la incubación del inóculo fue de tres días, y con ello se logra una concentración final de 1.5 g de biomasa/L. La corriente de salida del inóculo se combina con la corriente de la fuente de nutrientes, el cual puede ser solo medio de cultivo sintético (para el caso A) o una combinación con agua residual (caso B). El sistema de cultivo se diseñó para ocupar una superficie de 10 m², con una alimentación a esta etapa de cultivo de 4.17 L/h, de la cual el 20% v/v fue inóculo y 80% v/v proviene de la fuente de nutrientes, teniendo una concentración inicial de biomasa de 0.3 g/L (Figura 1 y 2). El cultivo se mantiene a una temperatura de 26°C, con una tasa de aireación de 0.2 vvm (mezcla de aire con 2% v/v de CO₂). El tiempo de residencia para el cultivo fue de 5 días para el caso A y 3 días para el caso B.

Resultados y discusión

Bajo las condiciones de operación consideradas para la simulación se logra una concentración de biomasa de 4 g/L para el caso A y 4.86 g/L para el caso B, similar a lo reportado por kuo et al., [18]. Los diagramas de flujo utilizados en la simulación se muestran en las Figuras 1 y 2.

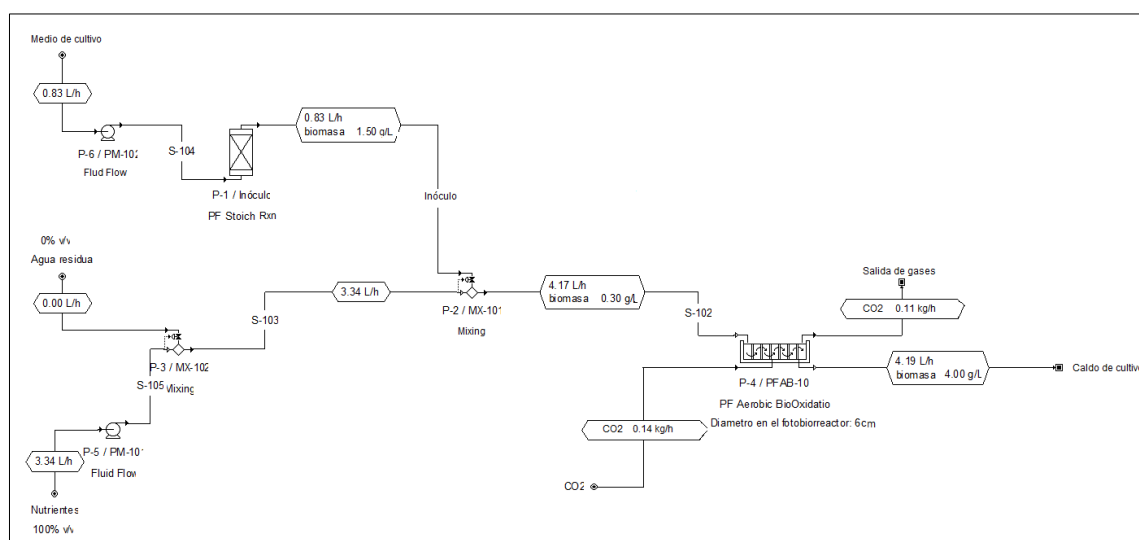


Figura 1. Diagrama de flujo para el diseño del caso A.

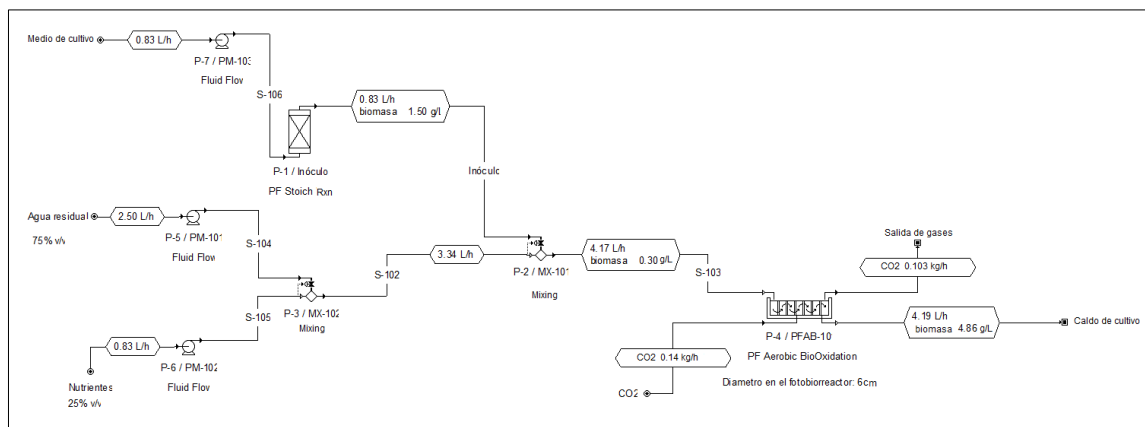


Figura 2. Diagrama de flujo para el diseño del caso B.

Tabla 2. Comparación de resultados de la evaluación del cultivo de microalgas.

Parámetros evaluados	Cultivo (caso A)	Cultivo (caso B)
Tiempo de operación anual (h)	7920	7920
Producción de biomasa anual (kg)	132.71	161.12
Agua fresca requerida (L/kg de biomasa)	197.31	40.63
Captura de CO ₂ (kg/año)	239	290
Costos de materias primas (US \$/año)	156	63
Costo de producción unitario (US \$/kg de biomasa)	16,641.82	14,025.42
Costo de operación anual (US \$/año)	2,209,000	2,260,000

De acuerdo a los resultados que se muestran en la Tabla 2, se puede observar que el uso de aguas residuales (caso B) genera 21% más biomasa microalgal que el escenario que ocupa solo medio de cultivo sintético (caso A), esto se debe al elevado contenido de nutrientes en el agua residual porcina, además se encontró que el consumo de nutrientes se reduce considerablemente, aproximadamente un 66%, Figura 3.

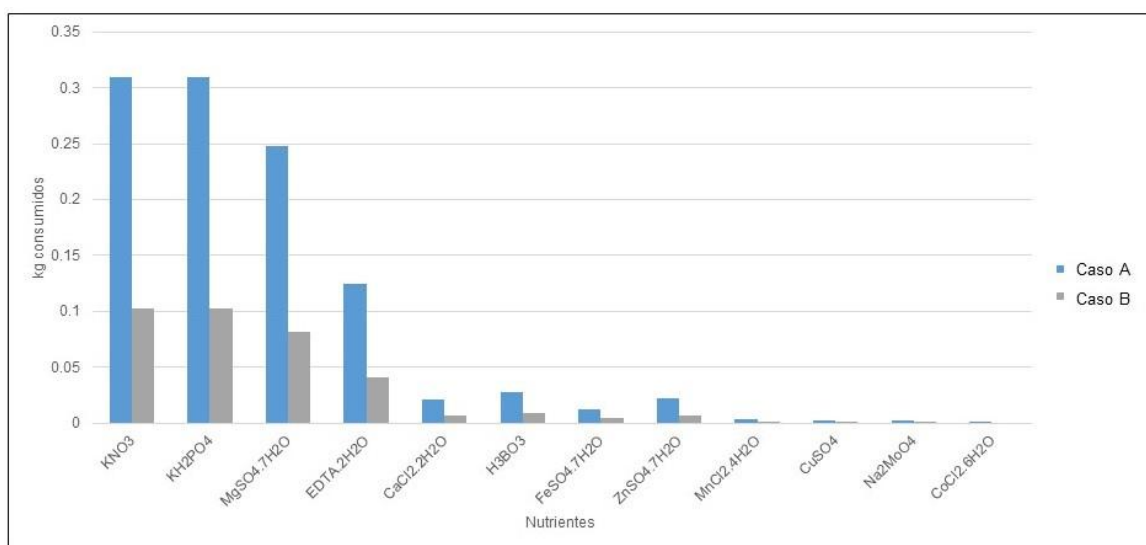


Figura 3. Consumo de nutrientes (kg/kg de biomasa producida).

Respecto a los costos asociados a la materia prima (nutrientes para el sistema de cultivo), estos tienen un ahorro del 60% cuando se emplean aguas residuales en el cultivo. Varios investigadores coinciden en que los ahorros en los requisitos para la remediación química y la posible minimización del uso de agua dulce, son los principales impulsores para la producción de biomasa como parte de un proceso de tratamiento de aguas residuales.

Al evaluar el consumo de agua fresca, se determinó que éste se reduce 79.7% cuando se ocupa agua residual para el cultivo, lo cual puede ser muy deseable cuando se pretende aplicar este sistema de cultivo y existe una limitante en el uso de agua fresca. Valdovinos et al., [5] comenta que el empleo de sistemas de cultivo cerrado (fotobiorreactor tubular como en este caso) puede ahorrar hasta 71% de agua dulce cuando se comparan con los sistemas de cultivo abierto, raceway pond. Además del consumo de agua fresca, otro factor importante a considerar y evaluar es la capacidad de captura de CO₂ de estos sistemas; para este estudio se consideró que se logra una captura de 1.8 kg de CO₂ por cada kg de biomasa microalgal de *Chlorella* sp. que se genera y que este no tiene costo alguno ya que se puede obtener de alguna fuente industrial cercana a donde se pretenda localizar este proceso, y bajo estas condiciones se lograría un 21.3% más en la captura de CO₂ en el sistema que considera agua residual para el cultivo, respecto al que solo considera medio de cultivo sintético. La capacidad de captura de CO₂ depende de la especie de microalga cultivada, la productividad de biomasa y del tipo de sistema de cultivo; en los sistemas de cultivo abiertos se pierde una cantidad considerable del CO₂ alimentado ya que el tiempo de contacto del gas con el líquido es poco y esto se debe principalmente a la poca profundidad de los sistemas abiertos.

Esta idea de doble propósito, es decir utilizar aguas residuales y captura de CO₂ en el cultivo, proporciona una vía para la eliminación de contaminantes químicos y orgánicos, metales pesados y patógenos de las aguas residuales, mientras también se produce biomasa para la producción de aceites que pueden tener diversos fines de uso [19]. En este sentido se han realizado varios estudios sobre el cultivo de microalgas para la producción de biomasa, lípidos y eliminación de nutrientes como fósforo y nitrógeno principalmente, usando efluentes de aguas residuales y así evitar la eutrofización [18], [20]–[22]. Algunas especies de microalgas utilizadas para este fin son *Chlorella*, *Nitzschia*, *Scenedesmus*, *Anabaena*, *Chlamydomonas*, *Dunaliella* y *Spirulina* [13], [23], aunque la especie preferida para usar aguas residuales en el cultivo es la *Chlorella*, ya que en la mayoría de los casos esta especie ha sido aislada de plantas de tratamiento de aguas residuales y se considera una especie autóctona para el tratamiento de dichas aguas [19]. Además, los procesos biológicos convencionales utilizados para tratar los efluentes agroindustriales altamente contaminados producen biogás y lodos, dos subproductos que almacenan importantes contenidos energéticos [24].

La evaluación económica arrojó que el costo de operación anual es mayor en el sistema de cultivo que utiliza agua residual porcina (caso B), aproximadamente un 2.3% mayor respecto al caso A. Esto se debe principalmente al equipamiento extra en el diseño del caso B (una bomba y un mezclador, Figura 2) respecto al caso A, esto incrementa el consumo de energía y el costo asociado al mantenimiento del equipamiento del proceso. Sin embargo, si se comparan los costos de producción por unidad de producción, es decir por cada kg de biomasa producida, se tiene un ahorro de 15.7% cuando se emplean aguas residuales (caso B), esto es debido a que se tiene una mayor producción de biomasa microalgal. El costo de producción incluye la suma de los costos relacionados con materias primas, mano de obra, servicios y costos operativos adicionales relacionados con el uso de la instalación. El tratamiento de aguas residuales basado en microalgas representa un costo operativo bajo, además de ser una alternativa ecológica en comparación con el proceso de tratamiento de aguas residuales convencional [25]. Peter et al., [1] resume que el uso de microalgas para el tratamiento de aguas residuales reducirá el costo del tratamiento y también la biomasa microalgal obtenida del proceso de tratamiento se puede utilizar como materia prima para la producción de lípidos y biocombustibles.

El uso de microalgas para la producción combinada de energía renovable junto con sistemas eficientes de tratamiento de aguas residuales a bajo costo y uso de efluentes de gases de combustión, ofrece una dirección innovadora y prometedora para un enfoque integral de los problemas de agua, energía y cambio climático (por la mitigación de emisiones de CO₂), dando ventajas ambientales (como prevenir la eutrofización) y económicas significativas en la producción de aceite de microalgas [19], [21], [26]. Sin embargo, a pesar de la propuesta tan prometedora de integrar el uso de aguas residuales con la producción de microalgas, aún existe poca evidencia de la viabilidad técnica y económica de la implementación de esta integración, es decir donde se consideren los costos asociados al pretratamiento del agua residual antes de poder ser utilizada como fuente de nutrientes en el cultivo de las microalgas, y evaluar el sistema integrado para la producción de biomasa.

Trabajo a futuro

Este trabajo muestra una evaluación del empleo de las aguas residuales en el cultivo de las microalgas, sin embargo, no se consideró en la evaluación el costo asociado al agua residual. El trabajo a futuro contempla realizar una evaluación que incluya los costos asociados al agua residual, es decir, su pretratamiento antes de incluirse en el cultivo, así mismo evaluar el proceso completo hasta la producción de un biocombustible derivado de las microalgas cultivadas con agua residual, o incluso hasta un esquema de biorrefinería. Actualmente se está desarrollando el proyecto de la evaluación tecnoeconómica para la planta de pretratamiento del agua residual proveniente de granjas porcinas.

Conclusiones

El uso de aguas residuales es favorable en el cultivo de las microalgas ya que se logra un ahorro considerable en el consumo de nutrientes, aproximadamente un 66%, e incluso se logra una mayor productividad de biomasa. Adicionalmente se logra un ahorro considerable de agua fresca y se logra una mayor captura de CO₂. Respecto a la evaluación económica, el costo asociado al consumo de materias primas se reduce considerablemente, 60% menos que cuando se ocupa solo medio de cultivo sintético. El costo de operación anual es mayor cuando se ocupa agua residual ya que es necesaria más energía para el bombeo y equipamiento extra. Sin embargo, si comparamos ambos procesos por el costo de producción unitario, el costo es menor para el cultivo que emplea agua residual porcina, ya que este produce una cantidad mayor de biomasa. Los resultados nos mostraron que el empleo de aguas residuales en el cultivo de microalgas es benéfico para el proceso, sin embargo, aún es necesario considerar otras variables en el diseño del proceso y su evaluación.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) por el apoyo brindado para la realización de este proyecto.

Referencias

- [1] A. P. Peter *et al.*, "Microalgae for biofuels, wastewater treatment and environmental monitoring," *Environ. Chem. Lett.*, vol. 19, no. 4, pp. 2891–2904, 2021.
- [2] P. SundarRajan, K. P. Gopinath, D. Greetham, and A. J. Antonysamy, "A review on cleaner production of biofuel feedstock from integrated CO₂ sequestration and wastewater treatment system," *J. Clean. Prod.*, vol. 210, pp. 445–458, 2019.
- [3] K. S. Khoo *et al.*, "Recent advances in downstream processing of microalgae lipid recovery for biofuel production," *Bioresour. Technol.*, vol. 304, p. 122996, 2020.
- [4] X. Li, H. Xu, and Q. Wu, "Large-scale biodiesel production from microalga *Chlorella protothecoides* through heterotrophic cultivation in bioreactors," *Biotechnol. Bioeng.*, vol. 98, no. 4, pp. 764–771, Dec. 2007.
- [5] E. M. Valdovinos-García, M. A. Petriz-Prieto, M. D. Olán-Acosta, J. Barajas-Fernández, A. Guzmán-López, and M. G. Bravo-Sánchez, "Production of Microalgal Biomass in Photobioreactors as Feedstock for Bioenergy and Other Uses: A Techno-Economic Study of Harvesting Stage," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 10, 2021.
- [6] S. Ge, S. Qiu, D. Tremblay, K. Viner, P. Champagne, and P. G. Jessop, "Centrate wastewater treatment with *Chlorella vulgaris*: Simultaneous enhancement of nutrient removal, biomass and lipid production," *Chem. Eng. J.*, vol. 342, pp. 310–320, 2018.
- [7] L. Brennan and P. Owende, "Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 2, pp. 557–577, 2010.
- [8] W. Y. Cheah, P. L. Show, J.-S. Chang, T. C. Ling, and J. C. Juan, "Biosequestration of atmospheric CO₂ and flue gas-containing CO₂ by microalgae," *Bioresour. Technol.*, vol. 184, pp. 190–201, 2015.
- [9] B. Colling Klein, A. Bonomi, and R. Maciel Filho, "Integration of microalgae production with industrial biofuel facilities: A critical review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, pp. 1376–1392, 2018.

- [10] G. Knothe, "A technical evaluation of biodiesel from vegetable oils vs. algae. Will algae-derived biodiesel perform?," *Green Chem.*, vol. 13, no. 11, pp. 3048–3065, 2011.
- [11] L. Moreno-Garcia, K. Adjallé, S. Barnabé, and G. S. V Raghavan, "Microalgae biomass production for a biorefinery system: Recent advances and the way towards sustainability," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 76, pp. 493–506, 2017.
- [12] H.-F. Jin, D. E. O. Santiago, J. Park, and K. Lee, "Enhancement of nitric oxide solubility using Fe(II)EDTA and its removal by green algae *Scenedesmus* sp.," *Biotechnol. Bioprocess Eng.*, vol. 13, no. 1, pp. 48–52, 2008.
- [13] S. A. Razzak, M. M. Hossain, R. A. Lucky, A. S. Bassi, and H. de Lasa, "Integrated CO₂ capture, wastewater treatment and biofuel production by microalgae culturing—A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 27, pp. 622–653, 2013.
- [14] M. E. Martínez, J. M. Jiménez, and F. El Yousfi, "Influence of phosphorus concentration and temperature on growth and phosphorus uptake by the microalga *Scenedesmus obliquus*," *Bioresour. Technol.*, vol. 67, no. 3, pp. 233–240, 1999.
- [15] M. A. Garzón-Zuñiga and G. Buelna, "Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México," *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 30, pp. 65–79, 2014.
- [16] K. S. Khoo, W. Y. Chia, K. W. Chew, and P. L. Show, "Microalgal-Bacterial Consortia as Future Prospect in Wastewater Bioremediation, Environmental Management and Bioenergy Production," *Indian J. Microbiol.*, vol. 61, no. 3, pp. 262–269, 2021.
- [17] N. Abdel-Raouf, A. A. Al-Homaidan, and I. B. M. Ibraheem, "Microalgae and wastewater treatment," *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 19, no. 3, pp. 257–275, 2012.
- [18] C.-M. Kuo *et al.*, "Cultivation of *Chlorella* sp. GD using piggery wastewater for biomass and lipid production," *Bioresour. Technol.*, vol. 194, pp. 326–333, 2015.
- [19] E. J. Olguín, "Dual purpose microalgae–bacteria-based systems that treat wastewater and produce biodiesel and chemical products within a Biorefinery," *Biotechnol. Adv.*, vol. 30, no. 5, pp. 1031–1046, 2012.
- [20] S. Ge and P. Champagne, "Nutrient removal, microalgal biomass growth, harvesting and lipid yield in response to centrate wastewater loadings," *Water Res.*, vol. 88, pp. 604–612, 2016.
- [21] A. N. Sasongko *et al.*, "Engineering Study of a Pilot Scale Process Plant for Microalgae-Oil Production Utilizing Municipal Wastewater and Flue Gases: Fukushima Pilot Plant," *Energies*, vol. 11, no. 7, 2018.
- [22] H. Znad, A. M. D. Al Ketife, S. Judd, F. AlMomani, and H. B. Vuthaluru, "Bioremediation and nutrient removal from wastewater by *Chlorella vulgaris*," *Ecol. Eng.*, vol. 110, pp. 1–7, 2018.
- [23] J. Milano *et al.*, "Microalgae biofuels as an alternative to fossil fuel for power generation," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 180–197, 2016.
- [24] A. Meneses-Jácome, R. Díaz-Chavez, H. I. Velásquez-Arredondo, D. L. Cárdenas-Chávez, R. Parra, and A. A. Ruiz-Colorado, "Sustainable Energy from agro-industrial wastewaters in Latin-America," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 56, pp. 1249–1262, 2016.
- [25] J. J. J. Y. Yong, K. W. Chew, K. S. Khoo, P. L. Show, and J.-S. Chang, "Prospects and development of algal-bacterial biotechnology in environmental management and protection," *Biotechnol. Adv.*, vol. 47, p. 107684, 2021.
- [26] J. P. Maity, J. Bundschuh, C.-Y. Chen, and P. Bhattacharya, "Microalgae for third generation biofuel production, mitigation of greenhouse gas emissions and wastewater treatment: Present and future perspectives – A mini review," *Energy*, vol. 78, pp. 104–113, 2014.

Evaluación de la electrocoagulación como alternativa para el aprovechamiento de aguas residuales de canal en Tultitlán, Estado de México.

Dulce I. Leyva-Chavez¹, M. Monserrat Montes-García¹, Sergio E. Viguera-Carmona², Sergio A. Martínez-Delgado³, J. Antonio Yáñez-Varela^{1*}

¹Unidad de Estudios Superiores Tultitlán, San Antonio s/n, Colonia Villa Esmeralda, Tultitlán de Mariano Escobedo, Estado de México. C.P. 5491. México, ²Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Av. Tecnológico S/N Colonia valle de Anáhuac, Ecatepec de Morelos Estado de México, 55210, ³Depto. Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Av. San Pablo 180. Azcapotzalco, CP 02200, CDMX, México. *juan.varela@umb.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En el presente trabajo se evalúa la técnica de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de un canal aledaño a las instalaciones de la Unidad de Estudios Superiores de Tultitlán. La evaluación experimental utilizó electrodos de material de aluminio y hierro. También se proponen los sistemas de canales de electrocoagulación que desviarían parte del caudal del canal para su aprovechamiento y reúso. La evaluación de estos sistemas de canales se centro en evaluar la configuración de electrodos. Se aplicó el análisis de dinámica de fluidos para caracterizar y evaluar la hidráulica de estos sistemas. Los experimentos permitieron demostrar que la electrocoagulación permite una remoción en términos de la demanda química de oxígeno por encima del 80% y una remoción de fósforo por encima del 90%. Las simulaciones permitieron demostrar que la configuración más atractiva para el canal es la de los electrodos perpendiculares, pues promueven las zonas hidrodinámicas adecuadas para los mecanismos de electrocoagulación.

Palabras clave: Electrocoagulación, Aguas Residuales, Simulación hidrodinámica, Remoción de Fósforo

Abstract

The present work evaluates the electrocoagulation technique for the treatment of wastewater from a canal adjacent to the facilities of the Unidad de Estudios Superiores de Tultitlán. The experimental evaluation used aluminum and iron electrodes. Electrocoagulation channel systems are also proposed that would divert part of the flow of the channel for its use and reuse. The evaluation of these channel systems focused on evaluating the electrode configuration. Fluid dynamics analysis was applied to characterize and evaluate the hydraulics of these systems. Experiments showed that electrocoagulation allows a removal in terms of chemical oxygen demand of over 80% and phosphorus removal of over 90%. The simulations showed that the most attractive configuration for the channel is that of perpendicular electrodes since they promote hydrodynamic zones suitable for electrocoagulation mechanisms.

Key words: Electrocoagulation, Wastewater, Hydrodynamic simulation, Phosphorus Removal

Introducción

Hoy en día la humanidad está atravesando una grave problemática por la sobreexplotación y contaminación del agua. Por lo tanto, el manejo y disposición de este recurso ha resultado una tarea difícil, pues no solamente se trata de cubrir el abastecimiento de agua para necesidades básicas de la población, sino también, de buscar alternativas para preservarlo. El tratamiento y saneamiento del agua residual (AR) es una vía aún desaprovechada para reutilizar este recurso, ya que los costos de operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) suelen ser un factor que promueve la mala práctica de verterlas al medio

ambiente sin ningún tratamiento previo [1]. La mayoría de las PTAR instaladas en México son fundamentadas en procesos biológicos, principalmente lagunas de oxidación o sistemas de lodos activados. Este tipo de tecnologías demandan áreas grandes para ser instaladas y energía para operar los compresores encargados de airear los reactores biológicos [2]. Aunado a lo anterior, en el Valle de México se mezclan los efluentes residuales tratados, domésticos, industriales y fluviales, para posteriormente enviarlos a plantas tratadoras de agua de gran volumen de operación, como la PTAR instalada en Atotonilco [3]. Este es un problema grave debido a que grandes volúmenes de agua que pudieran no contener contaminantes altamente peligrosos, se mezclan con corrientes que, si los contengan, diluyendo su concentración y haciendo más difícil la tarea de remoción [4]. Es por lo anterior que se debe promover el tratamiento y aprovechamiento local de las aguas residuales para fomentar un uso más sustentable de este recurso, así como una aplicación más eficiente de las tecnologías.

La electrocoagulación (EC) es un método alternativo a los métodos tradicionales para el tratamiento de AR que cuenta con distintas ventajas como son: uso nulo de agentes químicos, uso del “reactivo limpio” el electrón, llamado así porque puede obtenerse de fuentes renovables, los sistemas son flexibles y de fácil operación, y los tiempos de arranque de las plantas suelen ser mucho más cortos que los de un sistema biológico [5]. El método de EC utiliza electrodos, comúnmente de hierro (Fe) o aluminio (Al), en los cuales el ánodo se electro-diluye en el medio acuoso para generar el agente coagulante. Estos agentes (comúnmente los iones Fe^{2+} o Al^{3+}) son los encargados de neutralizar las cargas de las moléculas contaminantes que están suspendidas en el AR y posteriormente promover su floculación [6]. Durante el proceso de EC, la ionización catódica del agua genera como producto iones OH^- , lo que promueve el incremento del pH del medio, disminuyendo la solubilidad de las especies metálicas (de Fe o Al), permitiendo a su vez, precipitar y separar el agua tratada [5,6].

Un reto importante al momento de aplicar el método de EC es lograr la ingeniería necesaria para escalar el proceso manteniendo las eficiencias de remoción logradas en pruebas a nivel laboratorio. Se ha evidenciado que el paso limitante es el mantener las mismas condiciones de transporte de momento, masa y carga que se dan en el reactor de EC a escala laboratorio que en el implementado en el sistema a nivel industrial [7]. Un enfoque tomado en los últimos años es analizar estos sistemas con herramientas de dinámica computacional de fluidos (CFD, por sus siglas en inglés) para evaluar las geometrías propuestas a escala industrial o piloto. Los modelos CFD permiten analizar a detalle los fenómenos de transporte que se desarrollan al interior del sistema, lo que ha dado lugar a optimizar tanto el diseño geométrico del reactor electroquímico como a encontrar los parámetros de operación que permiten obtener el mejor desempeño del sistema. Ejemplos de esto son mejoras a los reactores electroquímicos clásicos, tales como el reactor de placas paralelas [8] y el reactor de cilindro rotatorio [9]. Estos han sido mejorados a través de modificaciones en su geometría de alimentación, y ubicación de los electrodos permitiéndoles mejorar su desempeño al momento de su aplicación a distintos procesos electroquímicos [8,9].

En la Unidad de Estudios Superiores Tultitlán de la Universidad Mexiquense del Bicentenario se encuentra aledaño a sus instalaciones un canal de aguas negras (Figura 1) el cual puede ser aprovechado para su reúso por la misma comunidad estudiantil y por la sociedad cercana. En vista de todo el panorama discutido con anterioridad se pretende diseñar el sistema de derivación de la corriente del canal, así como el sistema de tratamiento por el método de electrocoagulación. El diseño estará basado en herramientas CFD que permitirán evaluar distintas configuraciones de electrodos para conocer el desempeño hidrodinámico de todo el sistema. Además, experimentalmente se prueba la capacidad de remoción de agentes contaminantes por el método de electrocoagulación a escala laboratorio.

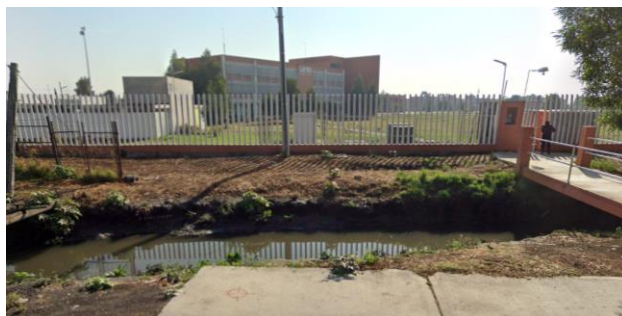


Figura 1. Esquema de las zonas de los sistemas de tratamiento propuestos.

Desarrollo experimental.

Muestreo y caracterización del agua residual

El muestreo consistió en la toma de una muestra compuesta de 2L. Transportada a 4°C para su conservación hasta la etapa de análisis. Se caracterizó la muestra en términos de la demanda química de oxígeno (DQO), concentración de fósforo, conductividad y pH.

Ensayos experimentales de electrocoagulación

Las pruebas de electrocoagulación fueron realizadas con electrodos de Al y Fe, con el fin de comparar el desempeño de ambos. Para realizar las pruebas de electrocoagulación se monto una celda con un volumen de trabajo de 80 m L. Para el suministro de eléctrico se utilizó una fuente de corriente directa (POWERBES), que operó a una intensidad de corriente de 400 mA en todos los ensayos. El voltaje requerido para las pruebas se monitoreo con un multímetro incorporado en la fuente. Al final de las pruebas, el agua tratada se filtró por gravedad para retirar los flóculos, utilizando un papel filtro de poro medio (tamaño de poro de $\approx 8 \mu\text{m}$). Al agua trata se le determino la concentración de DQO, fosforo, conductividad y pH. Para calcular la masa que se removió de contaminantes en base a la DQO (m_{DQO}) se utilizó la expresión de la ecuación 1.

$$m_{DQO} = (C_0^{DQO} - C_{t_f}^{DQO}) \cdot V_R \quad (1)$$

Donde C_0^{DQO} es la concentración de DQO al inicio del ensayo, $C_{t_f}^{DQO}$ es la concentración de DQO al final del ensayo y V_R es el volumen de trabajo la celda de reacción. Estos datos permitieron calcular el consumo energético del proceso mediante la ecuación 2.

$$E_E = \frac{(P \cdot t_t)}{m_{DQO}} \quad (2)$$

Donde P representa la potencia eléctrica que demanda la celda calculada como el producto de la diferencia de potencia aplicada por la intensidad de corriente ($P = V \cdot i$), y t_t representa el tiempo de tratamiento utilizado en los ensayos de electrocoagulación.

Desarrollo computacional

El sistema de tratamiento se digitalizo utilizando el software asistido por computadora SolidWorks®. Aquí se modelaron cada una de las partes del sistema como son, la compuerta de derivación de caudal del canal de aguas negras al sistema de tratamiento, las configuraciones de los electrodos, el canal que representa el volumen del reactor, y el separador. Una vez dibujadas las partes, se ensamblaron los distintos casos: el reactor operando con el electrodo de placas perpendiculares al fluido (Figura 2 A), el reactor operando con un sistema de electrodos en placas dispuestos de manera paralela vertical (Figura 2 B) y el reactor operando con un sistema de electrodos en placas dispuestos de manera paralela horizontal (Figura 2 C).

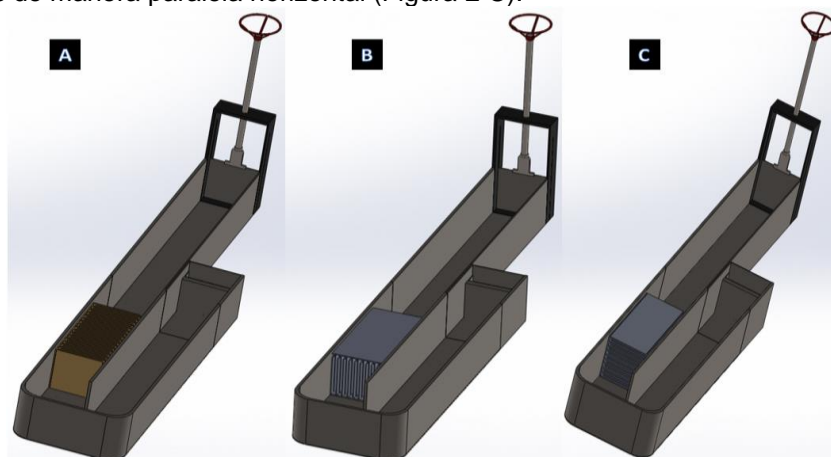


Figura 2. Ensamblajes de los sistemas de tratamiento propuestos. A Sistema de tratamiento con electrodos en placas perpendiculares. B. Sistema de tratamiento con electrodos en placas verticales. C. Sistema de tratamiento con electrodos en placas horizontales.

La idea de la distribución espacial de estos sistemas se esquematiza en la Figura 3. El ancho del canal (L) es de 0.54 m. Esta longitud L característica del sistema se tomó como base para dimensionar el sistema. El primer canal, el cual es el que está conectado a la altura de la compuerta tiene una longitud de $10L$, mientras que el segundo canal tiene una longitud de $6L$. La longitud del primer canal se divide en una zona dedicada a la separación física de los sólidos sedimentables que pudiera arrastrar el agua residual la cual tiene una longitud de $6L$ para después pasar a la zona de electrodos con una longitud de $2L$. Posterior a ello, el final del primer canal e inicio del segundo tienen una longitud de $4L$, esta zona tiene la función de promover el mezclado en el sistema para favorecer que los iones metálicos de mezclen con todo el volumen del líquido y promuevan la coagulación y

floculación. La última parte del segundo canal con una longitud de $2L$ tiene el objetivo de permitir el asentamiento de las fases, es decir, permitir la separación de los flóculos que tienden a flotar y del agua ya tratada. Es por esto por lo que al final del sistema de separación que cuenta con un rebosadero para decantar la espuma que conlleva a los flóculos y por debajo una salida para extraer el agua ya tratada.

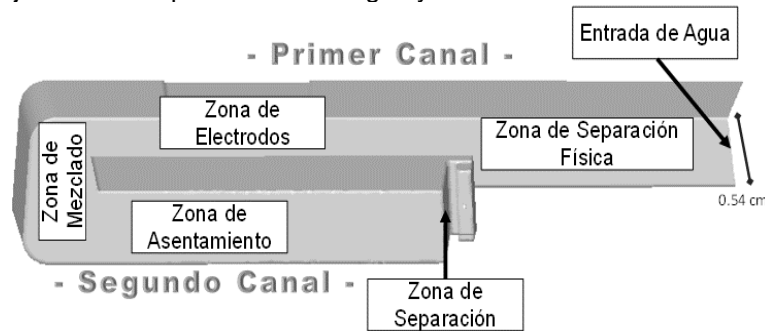


Figura 3. Esquema de las zonas de los sistemas de tratamiento propuestos.

Simulación

Las geometrías se exportaron al software de análisis de fluidos computacional. Esto permitió generar la malla para discretizar el dominio computacional. Se utilizaron mallas híbridas para dividir el dominio computacional, es decir, mallas con elementos tetraédricos, prismas y hexagonales. La densidad de malla en los tres casos osciló en los nueve mil elementos. La malla se muestra en la Figura 4. Se aseguró que la resolución de la malla fuera lo suficiente para captar los gradientes de velocidad en el fluido.

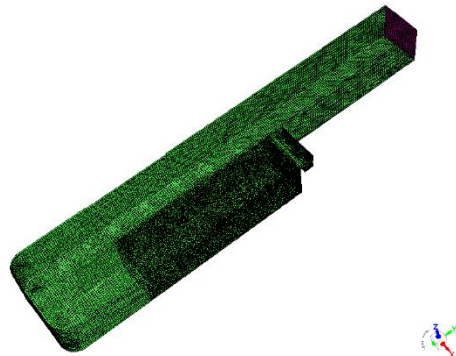


Figura 4. Malla computacional para aplicar el método de volumen finito.

Una vez conformada la malla, el dominio computacional se segmentó tomando como referencia las fronteras físicas del sistema, en las que se programaron las siguientes condiciones frontera:

- ★ Velocidad de entrada: El área de entrada del líquido máxima que deja la compuerta es de 0.29 m^2 , y en ella se especificó la velocidad con sentido normal a la superficie de $0.021 \text{ m}\cdot\text{s}$. Este valor fue el medido experimentalmente en el canal de aguas negras, por lo que se asumió como el valor de entrada al sistema de tratamiento.
- ★ Pared sólida: En las fronteras sólidas del sistema se especificó la condición de no deslizamiento, la cual fija la velocidad con un valor de cero. También estas fronteras se simulaban como impenetrables e isotérmicas.
- ★ Presión de salida: Con el objetivo de indicar el valor de la presión en las dos fronteras de salida, se especificó en ellas el valor de la presión atmosférica, pues la salida está expuesta directamente al medio ambiente.

Para conocer el régimen de flujo que dominará al fluido, se calculó en número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (3)$$

Donde ρ y μ son la densidad y viscosidad del agua respectivamente, los cuales se asumieron como los valores del agua a 20°C , es decir, con un valor de $998.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ y $0.001003 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente, L es el ancho del canal que es de 0.54 m , y v es la velocidad del líquido, considerada como 0.021 m/s . Utilizando la ecuación, el número de Reynolds es de $11\,283$, el cual indica que el régimen de flujo es turbulento.

La simulación del flujo de fluidos dentro del sistema de tratamiento conlleva a la solución de las ecuaciones de Navier-Stokes, las cuales para poder simular el fenómeno de la turbulencia se transforman con los promedios

temporales de Reynolds. Este enfoque permite aproximar el fenómeno turbulento, pero hace necesario el uso de un modelo que prediga el comportamiento de las variables turbulentas como son la energía cinética turbulenta (κ), y la disipación de energía turbulenta (ϵ). Con esto es posible conocer las distintas componentes de la velocidad (u , v , w) en todo el dominio computacional. Para resolver el sistema de ecuaciones diferenciales parciales se utilizó el método numérico de volumen finito, el cual se implementó utilizando el software Fluent.

Resultados y discusión

Resultados experimentales

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la caracterización experimental que se realizó a la muestra de agua residual obtenida del canal de aguas negras. Se puede observar que de la DQO total, el 34% es DQO soluble, lo que indicaría que pocos contaminantes están presentes como materia soluble. Mientras que el 66% de los contaminantes se presentarían como materia suspendida. Otro aspecto es que el efluente está ligeramente alcalino, lo cual es un aspecto importante para considerar al momento de aplicar el tratamiento por electrocoagulación. Un contaminante que se persigue remover en los sistemas de depuración es el fósforo, teniendo un límite máximo permisible de descarga en promedio máximo por día de $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ [9]

Tabla 1. Caracterización del agua residual.

Parámetros	Valores
pH	7.62
Conductividad	$77.19 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
DQO Total	$1084.6 \pm 83 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$
DQO Soluble	$374.142 \pm 32.73 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Fósforo	$28.4 \pm 2.23 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$

En la Tabla 2 se muestran los resultados de las pruebas de electrocoagulación. Se puede apreciar que los electrodos de Al presentan una mayor eficiencia en cuanto a porcentaje de remoción de contaminantes refiere, el cual es un 83% del total de DQO Total en la muestra de agua residual, quedando solo un 17% presente en el agua tratada. Mientras que los electrodos de Fe remueven un 74.7%, quedando un 8.3% por debajo de los resultados con los electrodos de Aluminio. Del mismo modo, la remoción de fósforo es más evidente con los electrodos de Al, dando un 82% de remoción, sin embargo, los electrodos de Fe no son indiferentes en esta variable, puesto que su remoción de fósforo es del 74%. Otro parámetro importante es el consumo energético que presenta cada prueba, a pesar de que los electrodos de Al requieren mayor potencia que los electrodos de Fe (6.922 W y 6.58 W, respectivamente), el consumo energético específico de los electrodos de Al es menor con $3.8 \times 10^{-5} \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1}$ respecto al consumo con los electrodos de Fe. Como se sabe, el consumo energético representa un desafío medioambiental y económico muy importante, además está conectado a la eficiencia energética (capacidad para obtener los mejores resultados en cualquier actividad empleando la menor cantidad posible de recursos energéticos), de esta manera entre menor sea el consumo energético, mayor es la eficiencia y, por tanto, mayor es el ahorro económico.

Tabla 2. Pruebas de electrocoagulación con electrodos de Aluminio y Hierro.

Parámetros	Valores del electrodo de Al	Valores del electrodo de Fe
pH	8.3	8.74
Conductividad ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	65.01	64.21
DQO Total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	184.3	274.6 ± 55.65
Fósforo ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	1.1 ± 0.59	1.4 ± 0.85
Voltaje (V)	Inicial	16.61
	Final	18
Área de los electrodos (cm^2)	30.24	30.24
Potencia requerida (W)	6.922	6.58

Consumo energético ($\text{kWh}\cdot\text{g}^{-1}$)

6.2×10^{-5}

1.0×10^{-4}

Como se ha mencionado anteriormente, el tratamiento realizado con los electrodos de Al resulta ser más eficiente, y se puede reflejar en la Figura 5. Se puede observar que, en la Figura 5 A (Prueba con Al), el agua resultante es mucho más clara que en el caso de la Figura 5 B (Prueba con Fe), esto es debido a que hace una remoción en mayor porcentaje (83%), por lo que es evidente que los mecanismos de electrocoagulación (atrapamiento de contaminantes, adsorción de los mismos, neutralización de cargas y formación de complejos por la reacción del coagulante con los grupos funcionales presentes en los contaminantes) son llevados a cabo de mejor manera con el Al. De la misma manera, se puede observar en la Figura 5 D que ambos electrodos generan espuma, la cual constituye parte de los contaminantes que se separan, no obstante, con los electrodos de Fe también se generan flocúlos que tienden a precipitar y/o se mantienen suspendidos, dificultando así la separación de los contaminantes y el agua tratada al final del proceso de tratamiento de acuerdo con la configuración prevista para esta acción (zona de separación, Figura 3).

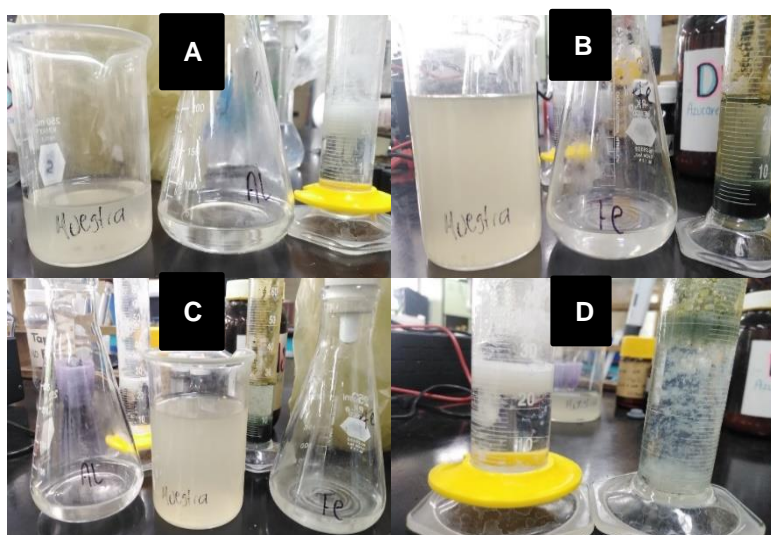


Figura 5. Resultados de las pruebas de electrocoagulación.

- A. Prueba de electrocoagulación con electrodos de Aluminio en comparación con la muestra cruda. B. Prueba de electrocoagulación con electrodos de Hierro en comparación con la muestra cruda. C. Comparación entre la muestra cruda y ambas pruebas. D. Espuma generada en cada una de las pruebas de electrocoagulación (a la izquierda prueba con Al, a la derecha prueba con Fe).

Resultados de la simulación

En este apartado se muestran los resultados de las simulaciones de dinámica computacional de fluidos realizadas sobre los sistemas de tratamiento propuestos. Una vez terminadas las simulaciones se obtienen las componentes de la velocidad en las tres dimensiones, u , v y w . Por lo que con estas variables fue posible calcular la magnitud de velocidad ($|v_{mag}|$) mediante:

$$|v_{mag}| = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} \quad (4)$$

Con el objetivo de examinar a detalle la distribución de la magnitud de velocidad en los sistemas de canales de electrocoagulación, la Figura 6 muestra los contornos de esta variable en el plano transversal a la mitad de la altura del tanque. Como se observa, la configuración que ocasiona menor disturbio en la velocidad del agua es la configuración de placas paralelas verticales, ya que la zona de mezclado como la de asentamiento tienen velocidades muy cercanas a la velocidad a la entrada del canal ($0.021 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Seguido de esta configuración, esta la de placas paralelas horizontales, ya que en esta si bien no se logra un incremento de la velocidad en la zona de mezclado, si se logran en la zona de asentamiento. Cuando los electrodos se ubican de forma perpendicular al flujo es cuando se logra un mayor incremento en la velocidad del líquido, provocando incrementos fuertes en la zona de mezclado del sistema que persisten en la mayoría de la zona de asentamiento del segundo canal. Es interesante observar que en la zona de separación, la configuración que logra las velocidades más bajas es la de

placas verticales, sin embargo, en el sistema con las placas perpendiculares, se logra disminuir la velocidad del líquido.

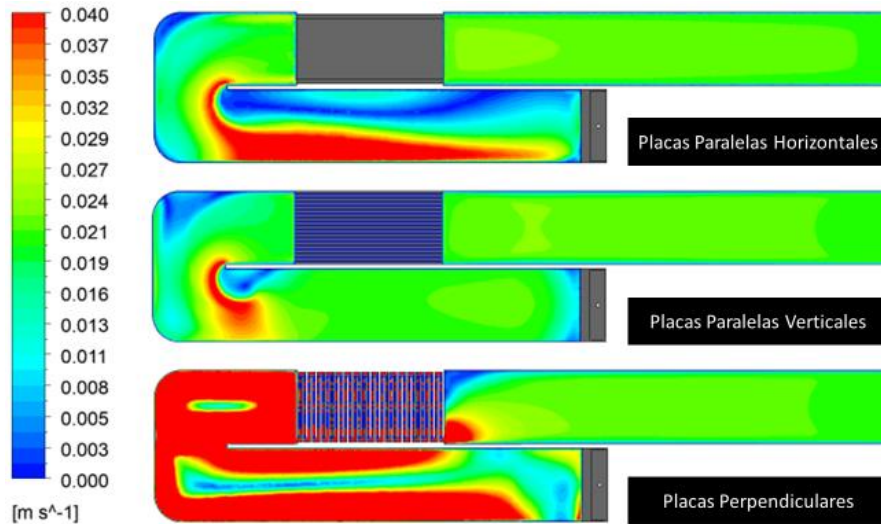


Figura 6. Vectores de velocidad coloreados por la magnitud de velocidad en m/s en los planos axiales. A es la configuración de electrodos planos y B la configuración de electrodos en placas.

En la Figura 5, se muestran los campos de velocidad calculados en un plano transversal ubicado a la mitad de la altura del tanque de tratamiento, con el fin de observar la dirección del flujo. Es necesario recordar que la velocidad especificada en la entrada del sistema fue de 0.021 m/s, por lo que, en la entrada el valor de la velocidad en los sistemas ronda en ese valor (zonas de color verde claro, Fig. 5). La diferencia del comportamiento del flujo se debe principalmente a la interrupción del flujo por la geometría de los electrodos. Es interesante observar como las configuraciones paralelas al flujo, tanto horizontales como verticales son las que provocan una menor interrupción del flujo. Algo interesante a notar entre las configuraciones paralelas, es la zona de asentamiento, pues el sistema adquiere velocidades mayores cuando las placas están de forma horizontal, con respecto a las placas ubicadas de forma vertical. La mayor interrupción del flujo es cuando las placas se colocan de forma perpendicular a este. Esto se debe a que el ancho del canal disminuye abruptamente, estrangulando el flujo y provocando un incremento en su velocidad. Este incremento en su velocidad provoca la formación de zonas de recirculación en el volumen posterior a la zona de electrodos, las cuales continúan aún en la primer sección de la zona de asentamiento.

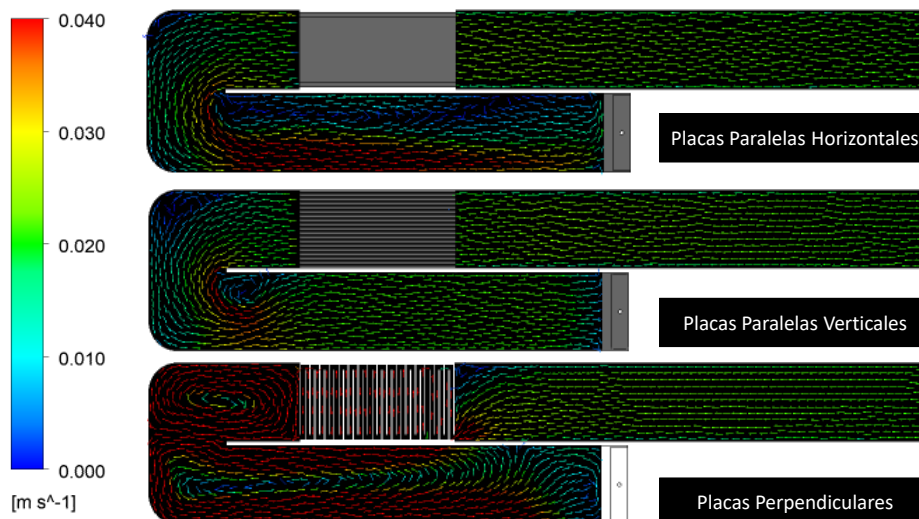


Figura 5. Vectores de velocidad coloreados por la magnitud de velocidad en m/s en el plano transversal. A es la configuración de electrodos planos y B la configuración de electrodos en placas paralelas.

Trabajo a futuro

El trabajo a futuro por realizar sería en dos caminos. El primero sería utilizando las metodologías del diseño experimental para optimizar las condiciones de operación a nivel laboratorio del proceso de electrocoagulación con el fin de encontrar las condiciones que permitan el mayor porcentaje de remoción, teniendo la precaución de no demandar un alto consumo energético. Por otro lado, el segundo es construir un prototipo a nivel laboratorio para escalar las configuraciones de canales de electrocoagulación aquí propuestas para poder validar las simulaciones numéricas aquí planteadas y evaluar la eficiencia del sistema en continuo.

Conclusiones

La técnica de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales del canal aledaño a la UES Tultitlán demostró ser una técnica factible. La experimentación de este trabajo permitió demostrar eficiencias de remoción en términos de la demanda química de oxígeno por encima del 80%, operando el sistema con electrodos de aluminio. Además, que la eficiencia de remoción de fósforo también resultó en eficiencias por encima del 90% con los electrodos de hierro y aluminio. Con las simulaciones de dinámica computacional de fluidos se demostró que, de los casos aquí propuestos para su evaluación, el más atractivo es el de placas perpendiculares, ya que permite formar estructuras de recirculación en la zona de mezclado y logra velocidades bajas en la zona de separación. Estos elementos hacen atractiva la aplicación de esta configuración para el proceso de electrocoagulación.

Referencias

- [1] A. B. Hernández S., J. C. Moreno S., and L. C. Sandoval H., "Tratamiento de aguas residuales industriales en México: Una aproximación a su situación actual y retos por atender," *Rev. Int. Desarro. sustentable*, vol. 2, pp. 75–88, 2017, [Online]. Available: <http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/download/27/33>
- [2] B. Jiménez-Cisneros and A. Chávez-Mejía, "Treatment of Mexico City wastewater for irrigation purposes," *Environ. Technol.*, vol. 18, no. 7, pp. 721–729, 1997.
- [3] A. W. Schultz, "Evaluation of a Clinical Advancement System," *J. Nurs. Adm.*, vol. 23, no. 2, pp. 13–19, 1993, doi: 10.1097/00005110-199302000-00005.
- [4] Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, Organización Mundial de la Salud, R. Johnston, F. Thevenon, and A. Shant, *Progreso en el tratamiento de las aguas residuales*. 2021. [Online]. Available: <https://www.unwater.org/publications/progress-on-wastewater-treatment-631-2021-update/>
- [5] F. Prieto, J. Callejas, V. Reyes, and Y. Marmolejo, "Electrocoagulación: Una alternativa para depuración de lactosuero residual. Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales," *Rev. Unam*, p. 63, 2012, [Online]. Available: <http://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/34727>
- [6] G. Chen, "Electrochemical technologies in wastewater treatment," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 38, no. 1, pp. 11–41, Jul. 2004, doi: 10.1016/j.seppur.2003.10.006.
- [7] L. F. Catañeda, F. F. Rivera, T. Pérez, and J. L. Nava, "Mathematical modeling and simulation of the reaction environment in electrochemical reactors," *Curr. Opin. Electrochem.*, vol. 16, pp. 75–82, 2019, doi: 10.1016/j.coelec.2019.04.025.
- [8] A. Rodríguez, F. F. Rivera, G. Orozco, G. Carreño, and F. Castañeda, "Analysis of inlet and gap effect in hydrodynamics and mass transport performance of a multipurpose electrochemical reactor: CFD simulation and experimental validation," *Electrochim. Acta*, vol. 282, pp. 520–532, 2018, doi: 10.1016/j.electacta.2018.06.071.
- [9] A. D. Villalobos-Lara, T. Pérez, A. R. Uribe, J. A. Alfaro-Ayala, J. de J. Ramírez-Minguela, and J. I. Minchaca-Mojica, "CFD simulation of biphasic flow, mass transport and current distribution in a continuous rotating cylinder electrode reactor for electrocoagulation process," *J. Electroanal. Chem.*, vol. 858, p. 113807, 2020, doi: 10.1016/j.jelechem.2019.113807.

Secado convectivo de flor de calabaza (*Cucurbita maxima*)

Lucho Gómez, Ana María^{1*}, García Valladares, Octavio¹, Domínguez Niño, Alfredo¹

¹ Instituto de Energías Renovables-UNAM, Privada Xochicalco S/N, C.P. 62580, Temixco, Morelos, México.
amlugo@ier.unam.mx, ogv@ier.unam.mx, aldoni@ier.unam.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En este estudio se utilizó un secador convectivo, con el objetivo de analizar el efecto de diferentes temperaturas (45, 50 y 55°C) y velocidades (0.3, 0.6 y 0.9 m/s) sobre el tiempo de secado, la actividad de agua y contenido de humedad final de la flor de calabaza (*Cucurbita máxima*). Los resultados obtenidos en el análisis realizado mostraron que los tiempos de secado fueron 11 horas para 45°C, 10 horas para 50°C y 7 horas para 55°C. Para la actividad de agua el valor inicial obtenido fue de 0.998, el cual disminuyó a 0.359 a 45°C, 0.253 a 50°C y 0.218 a 55°C. De acuerdo con estos datos, los mejores resultados se obtuvieron cuando se utilizó el secador a 55°C, ya que tuvo el menor tiempo de secado con 7 horas y en la actividad de agua se obtuvo el valor más bajo en comparación con las otras temperaturas utilizadas.

Palabras clave: Secado convectivo, *Cucurbita maxima*, Cinéticas de secado

Abstrac

In this study, a convective dryer was used, with the objective of analyzing the effect of different temperatures (45, 50 and 55°C) and velocities (0.3, 0.6 and 0.9 m/s) on drying time, water activity and final moisture content of the pumpkin flower (*Cucurbita maxima*). The results obtained in the analysis carried out showed that the drying times were 11 hours at 45°C, 10 hours at 50°C and 7 hours at 55°C. For water activity, the initial value obtained was 0.998, which decreased to 0.359 at 45°C, 0.253 at 50°C and 0.218 at 55°C. According to these data, the best results were obtained when the dryer was used at 55°C, since it had the shortest drying time with 8 hours and the lowest value was obtained in water activity compared to the other temperatures used.

Key words: Convective drying, *Cucurbita maxima*, Drying kinetics

Introducción

Generalmente, las flores son usadas para decorar por su valor estético, aunque muchas son comestibles. La identificación adecuada es esencial porque algunas son venenosas [1], actualmente han sido clasificadas en comestibles y no comestibles, esto debido a su diferencia en la composición (alcaloides y químicos) [2]. Las flores comestibles se utilizan en diferentes estilos de cocina y pueden encontrarse en los menús de todo el mundo [3]. En México existen 61 especies de flores comestibles, entre ellas la de calabaza, maguey, nopal, tule, colorín y cempasúchil. Son importantes por sus nutrientes y como fuente de antioxidantes [4]. Sin embargo, es escasa la información que se tiene sobre la composición nutrimental y el desarrollo de tecnologías para su preservación [5]. Por esta razón muchas no forman parte de la dieta de los mexicanos y las que se consumen se prefieren en fresco [4]. Las flores de calabaza fueron domesticadas en México [6] y es considerada como una de las flores comestibles tradicionales [7]. Tienen una gran demanda durante todo el año, ya que se caracterizan por tener una textura suave y un sabor delicado, por lo cual es un ingrediente importante en la gastronomía de diversas culturas [8]. El consumo de esta flor aumenta día a día, ya que se puede usar en sopas, quesadillas, tamales y postres [9]. A pesar de que es ampliamente consumida, su comercialización está limitada por su corta vida de anaquel, de 1-2 días a temperatura ambiente. Existen pocos datos disponibles acerca de sus atributos de calidad, la estabilidad de los nutrientes, así como información de los tratamientos postcosecha para retardar la pérdida de calidad [8]. Esto representa un problema para su distribución y consumo, ya que son productos altamente perecederos y estacionales, por lo que deshidratar las flores es una alternativa para su conservación [4]. El propósito de este trabajo fue secar flor de calabaza en un secador convectivo a temperaturas de 45, 50 y 55°C y

velocidades de aire de 0.3, 0.6 y 0.9 m/s, para lograr condiciones estables de actividad de agua y contenido de humedad final.

Metodología

Materiales

La materia prima que se utilizó fue la flor de calabaza fresca (Figura 1), la cual se obtuvo en el mercado de Cuernavaca, Morelos. Se seleccionaron las flores que no tuvieran daños físicos y que fueran de un tamaño uniforme. El proceso de secado se llevó a cabo en un secador de convección forzada. La medición del porcentaje de humedad se hizo con el uso de una termobalanza OHAUS y la actividad de agua con un medidor de actividad de agua HygroLabC1.



Figura 1 Flor de calabaza fresca

Preparación

Antes de someterlas al proceso de secado se desinfectaron. Se les retiró la parte de la corona y el pistilo. Posteriormente se pesaron 40 gramos y se colocaron en mallas de plástico perforadas dentro del secador (Figura 2). Al inicio de cada experimento se midió el contenido de humedad y actividad de agua. Para medir el contenido de humedad se pesaron 3 gramos de flor en una charola de aluminio que posteriormente se colocaron en la termobalanza. La actividad de agua fue determinada a una temperatura constante (25°C) mediante el uso del medidor de agua HygroLabC1.



Figura 2 Proceso de secado convectivo de flor de calabaza

Desarrollo

Para llevar a cabo el secado de flor de calabaza se propuso un diseño compuesto central centrado en sus caras representado como $23+2(3) +1$. Para cada factor se utilizaron 2 niveles con 6 puntos centrales en las caras y un punto central.

En la Tabla 1 se muestran los factores y niveles de estudio que se utilizaron en el proceso de secado a condiciones controladas.

Tabla 1 Factores y niveles evaluados en el proceso de secado de flor de calabaza en un secador de convección forzada

Factor	Nivel alto (+1)	Nivel medio (0)	Nivel bajo (-1)
Temperatura de secado(°C)	55	50	45
Velocidad de aire (m/s)	0.9	0.6	0.3
Forma/tipo de corte	Entera	Mitad	Pétalos

De acuerdo con el diseño de experimentos elegido, se realizaron las diferentes corridas experimentales para las condiciones propuestas. En la Figura 3 se muestran las 3 formas en las que se deshidrató la flor de calabaza.

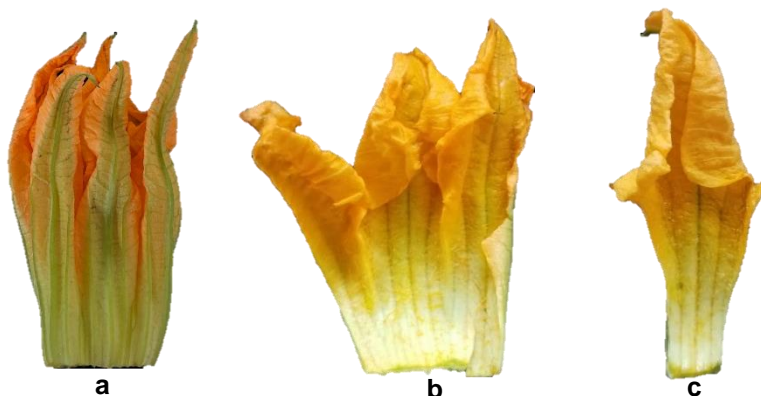


Figura 3 Formas utilizadas para la deshidratación de flor de calabaza: a) entera, b) mitad y c) pétalo

Resultados y discusión

Cinéticas de secado

En la Figura 4 se muestran las cinéticas de secado obtenidas a 55°C a 0.3, 0.6 y 0.9 m/s, y diferentes formas de la flor. Se puede observar que en las muestras que se utilizó una velocidad de 0.9 m/s y la flor entera, el proceso fue más rápido, ya que a las 7 horas llegó a peso constante. De igual forma al utilizar 0.9 m/s y la flor en pétalos, el proceso fue rápido al principio, pero al final se necesitaron 8 horas para llegar a peso constante.

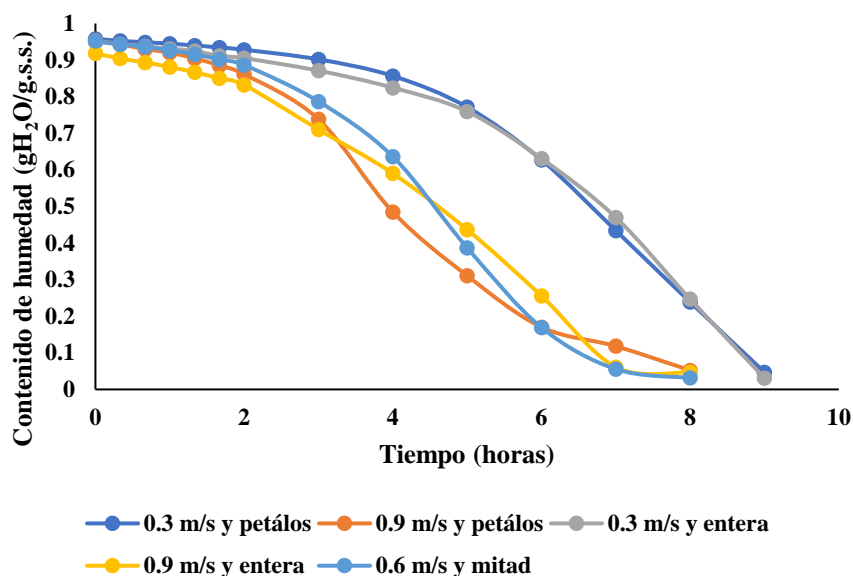


Figura 4 Cinética de secado de la flor de calabaza a 55°C, diferentes velocidades y forma.

En la Figura 5 se muestran las cinéticas de secado obtenidas a 50°C a 0.3, 0.6 y 0.9 m/s, con diferentes formas de la flor. Al igual que en la prueba anterior se puede observar que al utilizar una velocidad de aire de 0.9 m/s el proceso de secado es más rápido, ya que llegó a peso constante a partir de las 8 horas.

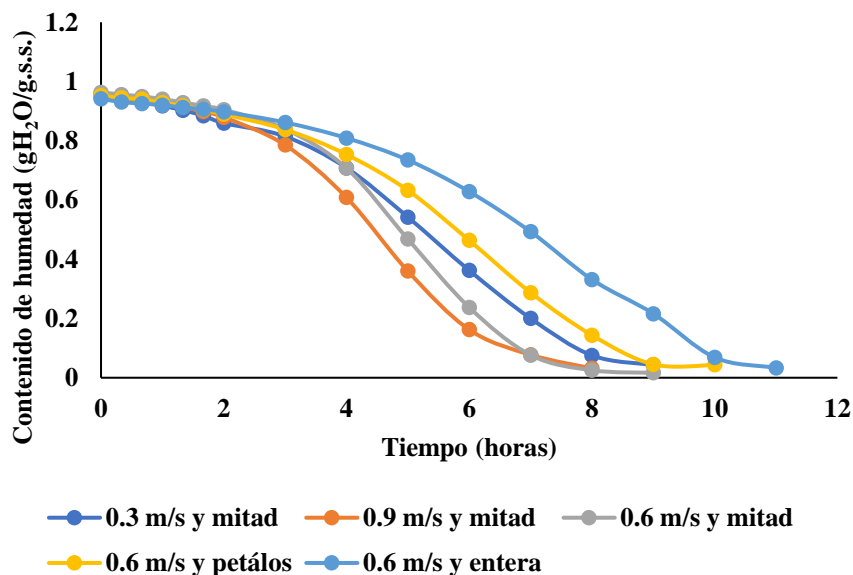


Figura 5 Cinética de secado de la flor de calabaza a 50°C, diferentes velocidades y forma.

En la Figura 6 se muestran las cinéticas de secado obtenidas a 45°C a 0.3, 0.6 y 0.9 m/s, con diferentes formas de la flor. En esta figura se puede observar que el proceso más rápido fue cuando se utilizó la velocidad de aire de 0.9 m/s y pétalos, ya que a las 9 horas el producto llegó a peso constante.

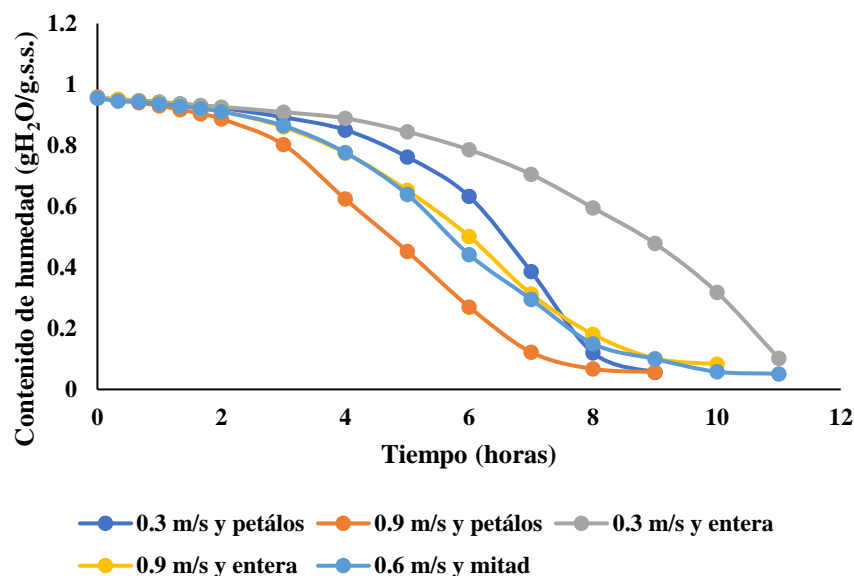


Figura 6 Cinética de secado de la flor de calabaza a 45°C, diferentes velocidades y forma.

De acuerdo con estos resultados, en un estudio realizado en flores de granada (*Punica granatum* Legrelliae) [10] deshidratadas a 40, 50 y 60°C, se observó un comportamiento similar en las cinéticas de secado, ya que al aumentar la temperatura de secado los tiempos se redujeron. Por lo tanto, una temperatura de secado más alta es mejor para el proceso.

Contenido de humedad y actividad de agua

En la Tabla 2 se muestran los valores de actividad de agua y contenido de humedad al final de la flor de calabaza deshidratada a 55°C, se puede observar que se alcanzaron humedades finales de 3.11% a 5.22% y con respecto a la actividad de agua se reportaron valores de 0.218 a 0.302, de acuerdo con estos datos se puede decir que la flor de calabaza se encuentra en condiciones estables para su conservación.

Tabla 2 Contenido de humedad y actividad de agua final de flor de calabaza deshidratada a 55°C

Corrida	Contenido de humedad (%)	Actividad de agua
0.3 m/s y pétalos	4.71	0.302
0.9 m/s y pétalos	5.22	0.220
0.3 m/s y entera	3.11	0.225
0.9 m/s y entera	4.70	0.218
0.6 m/s y mitad	3.17	0.236

En la Tabla 3 se muestran los valores finales de actividad de agua y contenido de humedad de la flor de calabaza deshidratada a 50°C. En dicha tabla se puede observar que se alcanzaron valores de actividad de agua entre 0.253 y 0.295, y para el contenido de humedad se reportaron valores entre 2.50% y 4.33%.

Tabla 3 Contenido de humedad y actividad de agua final de la flor de calabaza deshidratada a 50°C

Corrida	Contenido de humedad (%)	Actividad de agua
0.3 m/s y mitad	4.33	0.278
0.9 m/s y mitad	2.78	0.295
0.6 m/s y mitad	2.50	0.291
0.6 m/s y pétalos	4.33	0.253
0.6 m/s y entera	3.67	0.275

En la Tabla 4 se muestran los valores obtenidos para la actividad de agua y contenido de humedad final de la flor de calabaza deshidratada a 45°C, los valores que se obtuvieron oscilan entre 0.225 y 0.359 para la actividad de agua, 5.13% y 10.20% para el contenido de humedad.

Tabla 4 Contenido de humedad y actividad de agua final de flor de calabaza deshidratada a 45°C

Corrida	Contenido de humedad (%)	Actividad de agua
0.3 m/s y pétalos	5.65	0.328
0.9 m/s y pétalos	5.76	0.272
0.3 m/s y entera	10.20	0.359
0.9 m/s y entera	8.30	0.225
0.6 m/s y mitad	5.13	0.273

Trabajo a futuro

Se espera poder realizar estudios para conocer como afecta el proceso de secado en las propiedades fisicoquímicas de esta flor, tales como, contenido de vitamina C, carotenos y azúcares.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados reportados, la flor de calabaza alcanzó las condiciones esperadas para su conservación. La temperatura de secado que mostró mejores resultados fue 55°C, ya que se obtuvieron los valores más bajos de actividad de agua con 0.218, el contenido de humedad fue de 3.11 y el tiempo de secado fue el menor con 7 horas. Con estos valores podemos asegurar su estabilidad microbiológica para alargar su vida de anaquel. Y con respecto al uso de velocidad de aire durante el secado, se pudo observar que en con las tres diferentes temperaturas sucedió lo mismo, al utilizar 0.9 m/s el proceso fue más rápido. Por lo tanto, lo más conveniente es usar esa velocidad de secado.

Agradecimientos

Al proyecto de secado solar de productos agropecuarios, PAPIIT IN103021, desarrollado en el laboratorio de secado solar y a investigadores por México CONACYT.

Referencias

- [1] L. Fernandes, S. Casal, J. A. Pereira, J. A. Saraiva y E. Ramalhosa, «Edible flowers: A review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties and effects on human health,» *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 60, pp. 38-50, 2017.
- [2] D. J. Pinakin, V. Kumar, S. Suri, R. Sharma y M. Kaushal, «Nutraceutical potential of tree flowers: A comprehensive review on biochemical profile, health benefits, and utilization,» *Food Research International*, 2020.
- [3] J. Dorozko, D. Kunkulberga, I. Sivicka y Z. Kruma, «THE INFLUENCE OF VARIOUS DRYING METHODS ON THE QUALITY OF EDIBLE FLOWER PETALS,» *FOODBALT*, pp. 182-187, 2019.
- [4] I. López Agama , R. I. Ventura Aguilar , S. Bautista Baños y M. d. L. Ramos García, *FLORES COMESTIBLES ENDÉMICAS DE MÉXICO QUE NO PUEDEN FALTAR EN LA DIETA POR SU COMPOSICIÓN DE ANTIOXIDANTES*, Revista Ciencia y Nutrición, 2019.

- [5] I. López Agama, M. d. L. Ramos García, A. Zamilpa, S. Bautista Baños y R. I. Ventura Aguilar, «Comparative analysis of the antioxidant compounds of raw edible flowers and ethanolic extracts of Cucurbita pepo, Tagetes erecta, and Erythrina americana during storage,» *J Food Process Preserv.*, pp. 1-12, 2021.
- [6] C.-L. Zhou, L. Mi, X.-Y. Hu y B.-h. Zhu, «Evaluation of three pumpkin species: correlation with physicochemical, antioxidant properties and classification using SPME-GC-MS and E-nose methods,» *J Food Sci Technol*, vol. 54, nº 10, p. 3118–3131, 2017.
- [7] P. Ghosh y S. S. Rana, «Physicochemical, nutritional, bioactive compounds and fatty acid profiling of Pumpkin flower (Cucurbita maxima), as a potential functional food,» *SN Applied Sciences*, vol. 3, nº 216, 2021.
- [8] E. N. Aquino Bolaños, Q. Moreno Mayorga, A. Capistran Carabarán, R. Corona Velázquez, V. Velásquez Melgarejo y J. L. Chávez Servia, «Uso de diferentes películas plásticas de empaque para conservar la calidad poscosecha de flor de calabaza (Cucurbita máxima),» *Compendio de Investigaciones Científicas en México*, pp. 25-32, 2016.
- [9] K. Toro Vélez, R. Chávez Jáuregui, L. Wessel Beaver y B. Brunner, «Production and postharvest assessment of tropical pumpkin flowersharvested for consumption,» *HorTechnology*, pp. 199-212, 2022.
- [10] H. el Ferouali, N. Zehhar, F. Benkhalti, H. Bouamama, S. Doubabi, N. Abdenouri y A. Zoukit, «Solar drying, hygroscopic equilibrium and biochemical quality of Punica granatum Legrelliae's flowers,» *Journal of Applied Botany and Food Quality*, vol. 91, pp. 14 - 23, 2018.

Utilización de residuos de naranja y limón como una fuente potencial de biocombustible sólido

Arlette Lopez-Puga^a, Juan Manuel Reyes-Contreras^a, Norma Alejandra Vallejo-Cantú^a, Alejandro Alvarado-Lassman^a, Erik Samuel Rosas-Mendoza^b

^aDivision de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9, 852. Col. Emiliano Zapata Orizaba, Veracruz C.P. 94320, México
m21010159@orizaba.tecnm.mx

^bCONACYT- Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9, 852. Col. Emiliano Zapata Orizaba, Veracruz C.P. 94320, México

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

México es uno de los principales países generadores de residuos sólidos cítricos (RSC), ocasionando una problemática ambiental y económica, sin embargo, dichos residuos pueden ser aprovechados transformándose en productos de valor agregado. El objetivo de la presente investigación es analizar los residuos sólidos de naranja (RSN) y limón (RSL) como una fuente de biomasa con alto potencial como biocombustible sólido. Se realizó una caracterización fisicoquímica a tres diferentes mezclas, las cuales estuvieron conformadas por 200 g de RSC en las siguientes proporciones naranja-limón (% m/m): (1) 70:30, (2) 50:50 y (3) 30:70. Dentro de los resultados obtenidos destacan los valores del porcentaje de humedad debido a que en las tres mezclas de RSN y RSL el porcentaje de humedad es superior al 80 %, y el porcentaje de SV ya que en las tres mezclas de RSC se obtuvieron porcentajes mayores al 94 %, lo que asegura que el hidrochar sea rico en carbono. Como conclusión, los RSC de naranja y limón analizados en este trabajo son viables de ser sometidas al proceso de carbonización hidrotérmica y utilizados como biocombustibles sólidos.

Palabras clave: Carbonización hidrotérmica, Residuos sólidos cítricos, Biocombustibles sólidos.

Abstract

Mexico is one of the main countries that generates citrus solid waste (CSW), causing environmental and economic problems, however, said waste can be used by transforming it into value-added products. In the present investigation, the solid orange waste (SOW) and lemon (SLW) were analyzed as a source of biomass with high potential to be used as solid biofuel. A physicochemical characterization was carried out on three different mixtures, which were made up of 200 g of CSW in the following orange-lemon proportions (% m/m): (1) 70:30, (2) 50:50 and (3) 30:70. Among the results obtained, the values of the percentage of humidity stand out because in the three mixtures of SOW and SLW the percentage of humidity is greater than 80 %, and the percentage of SV since in the three mixtures of RSC higher percentages were obtained. to 94 %, which ensures that the hydrochar is rich in carbon. In conclusion, the orange and lemon CSW analyzed in this work are viable to be subjected to the hydrothermal carbonization process and used as solid biofuels.

Key words: Hydrothermal Carbonization, Citrus Solid Waste, Solid biofuels.

Introducción

Actualmente, en México se generan 42 millones de toneladas de residuos sólidos, de los cuales el 38 % corresponde a los residuos sólidos orgánicos, es decir, 16 millones de toneladas de RSO [1]. Por su parte, se generan alrededor de 2.3 a 2.8 millones de toneladas de residuos sólidos de naranja y de 1.3 a 1.6 millones de toneladas de residuos sólidos de limón [1]. Esto ocasiona desafíos en relación con la contaminación de la tierra, el suelo y la gestión general de desechos húmedos/semisólidos [2]. Sin embargo, las diferentes partes de estos residuos cítricos pueden usarse como biomasa con alto contenido de carbono. Las cáscaras de cítricos se consideran la principal fuente de residuos de cítricos que tiene varias características apropiadas, que incluyen precios bajos, desechables, abundantes e inofensivos [3].

Por su parte, la demanda energética a nivel mundial y nacional ha incrementado en los últimos años, esto como consecuencia del aumento de la población. En el año 2020, el consumo de energía en México superó 15.36 % a la producción de energía primaria, este comportamiento se debe a que en 2020 hubo una disminución del consumo de energía equivalente al 11.17 % respecto al año 2019, y un aumento en la producción de energía del 7.14 % respecto al año anterior [4]. Del total de producción de energía primaria en México en el año 2020, el 11.25 % corresponde a las energías renovables, destacando a la biomasa como materia prima con un 6.34 % lo que representa 429.94 PJ del total de 6,784.70 PJ que se produjeron en el país [4]. El índice de independencia energética es equivalente a 0.87 en el año 2020 lo que quiere decir que la producción de energía primaria sólo cubrió el 87 % de la energía que se consumió en el país, por lo que existió un déficit del 13 % de la demanda energética del país [4]. Se sabe que los métodos convencionales para generar energía como el uso de petróleo, y energía nuclear tienen un impacto negativo en el ambiente y la salud humana. Es por ello por lo que surgen tecnologías de energías renovables como vías alternas, una de ellas es la generación de biocombustibles a través de procesos termoquímicos [5].

En los procesos de conversión termoquímica, la energía es producida por aplicación de calor y por procesos químicos [6]. Dentro de estos procesos se encuentra la carbonización hidrotérmica donde la biomasa se encuentra rodeada de agua en fase líquida en reactores de elevada presión. La temperatura de reacción generalmente determina el tipo y la cantidad que se producirá. La mayor parte de la materia orgánica se convierte en sólidos (hidrochar) con una cantidad muy pequeña de gas (15 %) cuando se mantiene la temperatura del proceso por debajo de 220 °C y las presiones correspondientes de hasta 2 MPa. El proceso generalmente se lleva a cabo a temperaturas que oscilan entre 180 y 250 °C por un período de 4 y hasta 24 horas. Después de la reacción, se produce un producto acuoso negro que contiene partículas de carbono finamente dispersas en forma coloidal. Este producto se llama hidrochar [7]. En la Figura 1 se puede observar un esquema del proceso de carbonización hidrotérmica.



Figura 1. Esquema del proceso de carbonización hidrotérmica de biomasa.

El hidrochar encuentra aplicaciones como un buen adsorbente para contaminantes nocivos, materia prima para celdas de combustible de carbono y mejorador del suelo. Esta técnica es especialmente adecuada para procesamiento de residuos con alto contenido de humedad hasta el 90 %. Por tanto, este método se puede utilizar eficazmente para la conversión de desechos alimentarios [7]. La estructura química y el contenido energético del hidrochar son similares a los del carbón natural, lo que lo hace apto para su uso como combustible sólido en procesos de combustión convencionales [8]. Además, puede ser empleado como opción de tratamiento de residuos (reducción de volumen), material de carbono para adsorción y como acondicionador del suelo, almacenamiento de energía y pretratamiento para digestión anaerobia [9].

En investigaciones recientes que han empleado el proceso de CHT se ha reportado que: Yanpei *et al.* [10], utilizaron lodos de depuradora y lignito como materia prima para analizar las características y capacidades del hidrochar producido por el proceso de carbonización hidrotérmica en un rango de temperatura de 120 a 300 °C. De acuerdo con sus resultados, encontraron que el hidrochar contenía excelentes características sinérgicas como

carbono fijo, menos materia volátil y alto poder calorífico. Por su parte, Kumar *et al.* [11], investigaron el efecto de la carbonización hidrotérmica a las pieles del café, el proceso se llevó a cabo a temperatura de 180, 200, 230 y 260 °C. El proceso de CHT aumentó la densidad de energía del producto sólido, con temperaturas más altas que aumentaron más la densidad de energía. El pH del producto líquido estuvo cerca de 4.5 para todos los experimentos. Las concentraciones de glucosa, galactosa y arabinosa en el producto líquido de CHT disminuyeron con las temperaturas de CHT más altas. Por lo tanto, la carbonización hidrotérmica puede convertir las pieles plateadas del café en un producto sólido de mayor valor combustible y un líquido rico en azúcares monoméricos. La temperatura de procesamiento afecta la densificación energética del bioproducto sólido y el contenido de azúcar del bioproducto líquido [11]. Por otro lado, Iñiguez *et al.* [12], sometieron una mezcla de plásticos obtenidos del mar al proceso de CHT utilizando agua de mar como disolvente. De este modo, se pudo examinar las características de los productos finales obtenidos y probar la viabilidad de convertir los desechos plásticos marinos en combustible. Kangxin *et al.* [13], analizaron las correlaciones entre la composición química de complejos de la cáscara de naranja como biorresiduos típicos y la estructura fisicoquímica de su hidrochar derivado, que podría utilizarse para ajustar las propiedades del hidrochar para aplicaciones específicas (por ejemplo, adsorbente, combustible) regulando las proporciones respectivas de cada componente en los biorresiduos.

La presente investigación tiene por objetivo analizar los residuos de naranja y limón como una fuente de biomasa con alto potencial como biocombustible sólido.

Metodología

La metodología empleada para la presente investigación se muestra en la Figura 2.

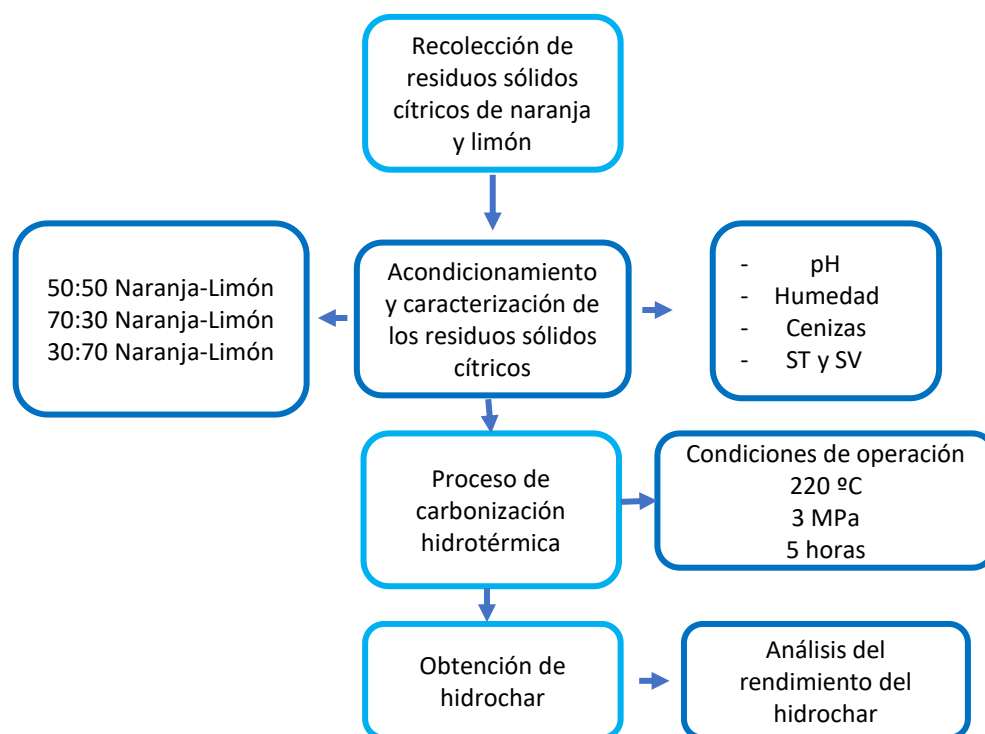


Figura 2. Diagrama experimental.

Recolección de los Residuos Sólidos Cítricos

Los residuos sólidos de naranja (RSN) y residuos sólidos de limón (RSL) fueron recolectados de los establecimientos comerciales y de jugos que se encuentran en la periferia del Instituto Tecnológico de la ciudad

de Orizaba, Veracruz. Dicha actividad fue realizada en el periodo enero-febrero 2022. Posteriormente, los RSC fueron transportados al Laboratorio de Ambiental I, el cual se ubica dentro del Instituto Tecnológico de Orizaba, en donde fueron almacenados y refrigerados a 4 °C.

Acondicionamiento y caracterización de los RSC

Se realizó clasificación de los RSC por selección manual, se separaron los RSN y RSL.

Una vez que fueron clasificados los RSN y RSL, se procedió a cortar las cáscaras en pequeños trozos de aproximadamente 2 cm, esto para facilitar su caracterización fisicoquímica. En la Figura 3 se observa dicho procedimiento.



Figura 3. Acondicionamiento de RSC a) Corte de RSN, b) Corte de RSL.

Se prepararon tres mezclas diferentes, las cuales estuvieron conformadas por 200 g de RSC en las siguientes proporciones (% m/m): 70:30 naranja-limón (mezcla 1), 50:50 naranja-limón (mezcla 2) y 30:70 naranja-limón (mezcla 3).

Para realizar la caracterización de las mezclas de RSC, se realizaron por triplicado las determinaciones analíticas que se mencionan a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Determinaciones analíticas.

Parámetro	Método	Equipo
pH	Potenciómetro 4500-H+ B Standard Methods	Potenciómetro OAKTON
Humedad	Método gravimétrico 2540 B SM Standard Methods	Estufa Riossa
Cenizas	Método gravimétrico 2540 E SM	Mufla 1300 Furnace
Sólidos Totales	Método gravimétrico 2540 B SM Standard Methods	Estufa Riossa
Sólidos Volátiles	Método gravimétrico 2540 E SM	Mufla 1300 Furnace

Determinación de pH

Para la determinación de pH, se pesaron 10 g de cada una de las tres mezclas, introduciéndolos en un vaso de precipitado de 50 mL, respectivamente. Se añadieron 20 mL de agua destilada y se mezcló con un agitador

durante 30 minutos. Se dejó reposar 15 minutos y se introdujo el electrodo del Potenciómetro OAKTON con cuidado en cada muestra, se esperó unos segundos para su estabilización y finalmente se determinó el valor de pH, de acuerdo con la determinación de Potenciómetro 4500-H+ B Standard Methods. Se registra el valor obtenido.

Determinación de humedad

Para la determinación de humedad, se empleó el método gravimétrico, primero se pesó una muestra de cada una de las tres mezclas de RSC (P) utilizando una balanza OHAUS, y en seguida se introdujeron en una Estufa Riossa a temperatura de 110 °C durante 24 horas para su secado. Transcurrido el tiempo la muestra se pesó nuevamente para obtener su peso constante (P'). Empleando la Ecuación (1) se determinó el porcentaje humedad.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P}{P'} * 100 \quad (1)$$

Donde:

P = Masa de agua (g)

P' = Masa de la muestra (g)

Determinación de cenizas

El porcentaje de cenizas en base seca se calculó introduciendo la muestra obtenida en la determinación de humedad a una Mufla marca Barnstead Thermolyne 1300 Furnace durante un tiempo de 2 horas a 550 °C. La cantidad de cenizas se determinó mediante la destrucción de la materia orgánica presente en la muestra por calcinación y determinación gravimétrica del residuo. Se expresa en porcentaje (g/100 g de muestra) y se obtuvo mediante la Ecuación (2):

$$\% C = \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} * 100 \quad (2)$$

Donde:

C = Porcentaje de cenizas en base seca (%)

P₁ = Peso del crisol vacío (g)

P₂ = Peso del crisol más la muestra seca (g)

P₃ = Peso del crisol más la muestra calcinada (g)

Determinación de Sólidos Totales

Para la determinación de sólidos totales, se pesó un crisol previamente sometido al método de peso constante, se registró su peso. Posteriormente se añadió una muestra de alguna de las tres mezclas y se anotó su peso. Después se metió el crisol a la estufa durante 24 horas a 105 °C. Transcurrido el tiempo, se sacó el crisol y se registró su peso. La cantidad de sólidos totales se determinó mediante la Ecuación (3):

$$\% ST = \frac{P_3 - P_1}{P_2} * 100 \quad (3)$$

Donde:

ST = Porcentaje de sólidos totales (%)

P₁ = Peso del crisol vacío (g)

P₂ = Peso de la muestra (g)

P₃ = Peso del crisol más la muestra seca (g)

Determinación de Sólidos Volátiles

Para la determinación de sólidos volátiles, se introdujeron a la mufla durante 2 horas a 550 °C la muestra final que previamente fue obtenida en la determinación de sólidos totales. Una vez transcurrido el tiempo, se pesó la muestra calcinada y se registró su peso. La cantidad de sólidos volátiles se determinó mediante la Ecuación (4):

$$\% SV = \frac{P_3 - P_4}{P_3 - P_1} * 100 \quad (4)$$

Donde:

SV = Porcentaje de sólidos volátiles (%)

P₁ = Peso del crisol vacío (g)

P_2 = Peso de la muestra (g)
 P_3 = Peso del crisol más la muestra seca (g)
 P_4 = Peso del crisol más la muestra calcinada (g)

Proceso de carbonización hidrotérmica

Una vez realizada la caracterización de las diferentes mezclas de residuos sólidos cítricos, se procedió a someter la materia prima al proceso de carbonización hidrotérmica. El cual se llevó a cabo en un reactor de teflón con carcasa de acero inoxidable 304 y capacidad de 250 mL. En la Figura 4 se observa el reactor utilizado.



Figura 4. Reactor para proceso de carbonización hidrotérmica.

Los parámetros de operación para el proceso de CHT fueron temperatura de 220 °C durante 5 horas con una presión máxima de 3 MPa. Al terminar el tiempo del proceso de CHT, se dejó que la estufa alcanzara la temperatura ambiente para posteriormente abrir el reactor y retirar el hidrochar obtenido. Posteriormente, el hidrochar fue secado en estufa a 105 °C durante aproximadamente 1 hora. Finalmente se almacenó para su posterior caracterización.

Rendimiento de hidrochar

Para conocer el porcentaje (%) de rendimiento del hidrochar se utilizó la Ecuación (5) que a continuación se describe:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{HS}{RSC} * 100 \quad (5)$$

Donde:

HS = Hidrochar seco (g)

RSC = Residuo sólido cítrico a la entrada del reactor (g)

Resultados y discusión

Resultados de la caracterización de RSC.

Los resultados de la caracterización fisicoquímica de las tres mezclas de residuos sólidos cítricos de naranja y limón se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización fisicoquímica de los RSC.

Mezcla de RSN-RSL (% m/m)	pH	Humedad (%)	Cenizas (%)	ST (%)	SV (%)
1 70:30	4.09 ± 0.01	80.16 ± 1.12	5.09 ± 0.10	19.83 ± 1.12	94.90 ± 0.10
2 50:50	3.81 ± 0.09	82.56 ± 0.52	5.61 ± 0.46	17.43 ± 0.52	94.38 ± 0.46
3 30:70	3.50 ± 0.05	82.31 ± 1.05	5.20 ± 0.52	17.68 ± 1.05	94.79 ± 0.52

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, se puede observar que el valor de pH tiende a disminuir cuando se emplea un mayor porcentaje de residuo sólido de limón. El valor más bajo fue de 3.50 y se obtuvo en la mezcla 3 y el valor de pH más alto fue de 4.09 en la mezcla 1. Nava-Pacheco [14], obtuvo un valor de pH de 3.41 y 2.87 para el RSN y RSL, respectivamente, Alvarado-Davila y Hernandez-Sierra [15], encontraron un valor de pH 4.1 cuando emplearon residuos cítricos. Los valores obtenidos en esta investigación se encuentran dentro de los rangos de dichos autores.

Por su parte, el porcentaje de humedad es superior al 80 % en las tres mezclas de RSC, por lo que el residuo es viable para ser sometido al proceso de carbonización hidrotérmica. Martín *et al.* [16], emplearon residuos de naranja para su investigación y hallaron un valor de 79.83 % de humedad en ellos, este dato se encuentra cercano al obtenido en las mezclas de RSN y RSL en la presente investigación. De manera similar Nava-Pacheco [14] encontró valores de 79.31 y 83.34 % para el RSN y RSL, respectivamente. A partir de estos datos, se puede explicar la tendencia que siguen las mezclas de RSC en la presente investigación.

Con respecto al porcentaje de cenizas para la presente investigación, se encontraron valores de 5.09 a 5.20 %. Nava-Pacheco [14], que trabajó con residuos sólidos de limón y residuos sólidos de naranja en encontró un porcentaje de cenizas de 4.25 y 4.17 % para el RSL y RSN, respectivamente. Los resultados se asemejan a esta investigación donde se utilizaron mezclas de RSC.

El porcentaje de ST obtenido por Martín *et al.* [16], fue de 15.09 %, cuando trabajó con residuos sólidos de naranja, estos valores se acercan a los obtenidos para esta investigación. Con respecto al porcentaje de SV, en esta investigación se encontraron valores de 94.38 a 94.90 %, mientras que Nava-Pacheco [14], obtuvo un valor de 95.75 % cuando utilizó residuos sólidos de limón y un valor de 95.83 % cuando utilizó residuos sólidos de naranja.

Rendimiento del hidrochar

En la Figura 5, se observa el porcentaje de rendimiento del hidrochar en cada una de las tres mezclas.

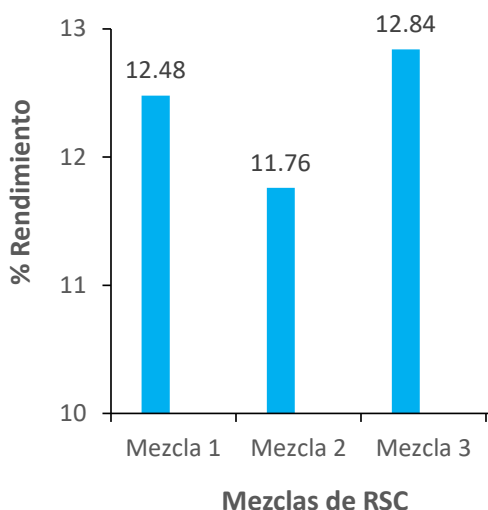


Figura 5. Porcentaje de rendimiento del hidrochar.

La mezcla que obtuvo el mayor porcentaje de rendimiento fue la 3 con 12.84 %. La mezcla 2 fue la que obtuvo el menor porcentaje de rendimiento que fue de 11.76 %. Mientras que el valor obtenido para la mezcla 1 se encontró dentro del rango de ambos valores con 12.48 %. Sin embargo, los tres valores se encuentran cercanos entre sí. Nava-Pacheco [14], reportó un porcentaje de rendimiento de hidrochar de 11.92 % cuando empleo RSC, los valores obtenidos en la presente investigación son similares a los previamente reportados.

Trabajo a futuro

Las tres mezclas de hidrochar obtenidas, serán analizadas con la finalidad de conocer su poder calorífico, para poder concluir si los residuos sólidos cítricos presentan alto potencial para ser empleado como biocombustible sólido.

Conclusiones

Se realizó la caracterización fisicoquímica de tres mezclas de residuos sólidos cítricos de naranja y limón, las cuales estaban compuestas por 70:30, 50:50 y 30:70 % m/m de RSN-RSL. Se observó que el pH obtuvo un valor más bajo en la mezcla 3, debido a que el residuo sólido de limón se encontraba en mayor proporción. Los porcentajes de humedad indicaron que las tres mezclas son viables para ser sometidas al proceso de carbonización hidrotérmica, ya que se encuentran por arriba del 80 % de contenido de humedad. El porcentaje de SV es superior al 94 % en las tres mezclas de RSC, por lo tanto, el hidrochar obtenido será rico en carbono. Por otra parte, se observó que de 109 g de mezclas de RSC que fueron sometidas al proceso de CHT se obtienen alrededor de 10-14 g de hidrochar, resultando en un rendimiento de entre 11 y 12 %.

Agradecimientos

A CONACYT por la beca nacional otorgada. Al TecNM por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación.

Referencias

- [1] Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. Available: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf> [Último acceso: 25 Agosto 2022].
- [2] Mahato, N., Sharma, K., Sinha, M., Baral, E. R., Koteswararao, R., Dhyani, A. y Cho, S. "Bio-sorbents, industrially important chemicals and novel materials from citrus processing waste as a sustainable and renewable bioresource: A review," *Journal of Advanced Research*. vol. 23, pp. 61-82, 2020.
- [3] Ehsani, A. y Parsimehr, H. "Electrochemical Energy Storage Electrodes via Citrus Fruits Derived Carbon: A Minireview," *Chem. Rec.* vol. 20, pp. 1-12, 2020.
- [4] Secretaria de Energía. Balance Nacional de Energía. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/707654/BALANCE_NACIONAL_ENERGIA_0403.pdf [Último acceso: 25 Agosto 2022].
- [5] Garlapati, V. K., Tewari, S. y Ganguly, R. "Life Cycle Assessment of First-, Second-Generation, and Microalgae Biofuels," *Advances in Feedstock Conversion Technologies for Alternative Fuels*, pp. 355-371, 2019.
- [6] Tursi, A. "A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion," *Biofuel Research Journal*, vol.6, no. 2, pp. 962-979, 2019.
- [7] Jeevahan, J., Anderson, A., Sriram, V., Durairaj, R., Joseph, G. B. y Mageshwaran, G. Waste into Energy "Conversion technologies and conversion of food wastes into the potential products: a review," *International Journal of Ambient Energy*, 2018.
- [8] Sharma, H. B., Sarmah, A. K. y Dubey, B. "Hydrothermal carbonization of renewable waste biomass for solid biofuel production: A discussion on process mechanism, the influence of process parameters, environmental performance and fuel properties of hydrochar," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 123:109761, 2020.
- [9] Panigrahi, S., Sharma, H. B. y Dubey, B. K. "Overcoming yard waste recalcitrance through four different liquid hot water pretreatment techniques – Structural evolution, biogas production and energy balance," *Biomass and Bioenergy*, vol. 127:105268, 2019.

- [10] Yanpei, S., Zhan, H., Zhuang, X., Xiuli, Y., y Chuangzhi, W. "Synergistic Characteristics and Capabilities of Co-hydrothermal Carbonization of Sewage Sludge/Lignite Mixtures," *Energy y Fuels*, vol.33, no.9, pp. 8735-8745, 2019.
- [11] Kumar, N., Weldon, R. y Lyam, J. "Hydrothermal carbonization of coffee silverskins," *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 36:102145, 2021.
- [12] Iñiguez, M., Conesa, J. y Fullana, A. "Hydrothermal carbonization (HTC) of marine plastic debris," *Fuel*, vol. 257, no. 1:116033, 2019.
- [13] Kangxin, X., Huan, L., Yang, L., Linlin, Y., Xiuju, Z., Hongyun, H. y Hong, Y. "Correlations between hydrochar properties and chemical constitution of orange peel waste during hydrothermal carbonization," *Bioresource Technology*, no. 265, pp. 432-436, 2018.
- [14] Nava-Pacheco, D. "Evaluación del hidrochar obtenido de un residuo cítrico como mejorador de suelos," *Tesis de maestría*. Instituto Tecnológico de Orizaba, 2021.
- [15] Alvarado-Davila, T. y Hernandez-Sierra, A. "Revisión de alternativas sostenibles para el aprovechamiento del orujo de naranja," *Revista colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, vol 5. No. 3, 2018.
- [16] Martín, M. A., Fernández, R., Gutiérrez, M. C., y Siles, J. A. "Thermophilic anaerobic digestion of pre-treated orange peel: Modelling of methane production," *Process. Saf. Environ*, no. 117, pp.245-253, 2018.

Efecto de la temperatura en las propiedades de películas delgadas de CdS por baño químico

Cruz-Cruz Carlos Guadalupe¹, Rojas-Blanco Lizeth¹, González-Sánchez Tenoch¹, Torres-Ricárdez Rafael¹, Ramírez-Morales Erik^{1*}

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Avenida Universidad s/n Zona de la Cultura, Colonia Magisterial CP 86690 Villahermosa Centro Tabasco
México

*eriking10@hotmail.com

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En esta investigación, se realizó la obtención de películas delgadas de CdS por la técnica de baño químico a diferentes temperaturas de depósito. Las películas de CdS se caracterizaron por Difracción de Rayos X (DRX), Microscopía de Fuerza Atómica (AFM), Espectroscopia Raman, espectroscopia Uv-Vis y Perfilometría. El difractograma obtenido por DRX mostró que las películas de CdS son policristalinas y presentan 3 picos característicos del CdS, correspondientes a los planos (002), (110) y (112) de la fase hexagonal (PDF: 01-070-2553) o a los planos (111), (220) y (311) de la fase cúbica (PDF: 01-075-0581). Las morfologías obtenidas por AFM las películas muestran una homogeneidad en su rugosidad y con el tratamiento térmico la variación es la esperada de acuerdo con la literatura. Por Raman se determinó que los modos vibracionales se asocian principalmente a las fases hexagonal y cúbica, lo cual corrobora lo obtenido por DRX.

Palabras clave: CdS, Baño Químico, Temperatura, Semiconductor.

Abstract

In this research, thin films of CdS were obtained using the chemical bath technique at different deposition temperatures. The CdS films were characterized by X-Ray Diffraction (XRD), Atomic Force Microscopy (AFM), Raman Spectroscopy, Uv-Vis spectroscopy and Profilometry. The diffractogram obtained by XRD showed that the CdS films are polycrystalline and present 3 characteristic CdS peaks, corresponding to planes (002), (110) and (112) of the hexagonal phase (PDF: 01-070-2553) or to the (111), (220) and (311) planes of the cubic phase (PDF card: 01-075-0581). The morphologies obtained by AFM the films show a homogeneity in their roughness and with the thermal treatment the variation is as expected according to the literature. By Raman it was determined that the vibrational modes are mainly associated with the hexagonal and cubic phases, which corroborates what was obtained by XRD.

Keywords: CdS, Chemical Bath, Temperature, Semiconductor.

1. Introducción

El Sulfuro de Cadmio (CdS) es un compuesto semiconductor ideal para la aplicación fotovoltaica, esto se debe principalmente a tres factores; su alto coeficiente de absorción, banda ancha de conducción y su elevada fotosensibilidad [1]. Las aplicaciones potenciales de este compuesto son como capa ventana en celdas solares [2], fotoconductor [3], sensor óptico [4], marcadores biológicos [5], fotocatalizador [6], etc. Los cristales de CdS se pueden cultivar de dos fases estructurales: la forma cúbica (zinc-blenda) y hexagonal (wurtzita), ambas fases estructurales se encuentran como impurezas en el zinc, siendo estas la forma más económica de hacerlo [7].

El CdS como nanopartículas posee una relación superficie-volumen alta y una superficie imperfecta [8]. y se ha reportado que sus propiedades tienen una fuerte dependencia de su forma y tamaño [9]. Además, también se ha observado que con la variación de la temperatura muestra una dependencia con las bandas de absorción óptica y luminiscencia [10]. Las películas delgadas de CdS pueden ser sintetizadas por diferentes métodos, estos son; sol-gel [11], depósito por láser pulsado (PLD) [12], depósito químico de vapor (CVD) [13], depósito por baño químico (CBD) [1], [7], entre otros. Sin embargo, el método de depósito por baño químico es una técnica que no necesita condiciones especiales para llevar a cabo una síntesis, ya que no requiere altas temperaturas ni altos vacíos, por lo tanto, no existen emisiones de gases tóxicos ya que este método emplea un proceso controlado de

reacción química para llevar a cabo el depósito de la película delgada en forma de nanoestructuras con la ayuda de un agente complejante [5], [7]. Por otro lado, se ha observado que un tratamiento térmico de la película a una temperatura muy superior a 670 K elimina algunos defectos estequiométricos como el exceso de azufre y cadmio. Además de promover algunos cambios benéficos en la estructura cristalina de las películas depositadas, que se caracterizan por una fase mixta hexagonal-cúbica. Como un inconveniente, el recocido a alta temperatura promueve también una oxidación de la superficie de la película ya que el $\text{Cd}(\text{OH})_2$ precipita en la película de CdS durante el proceso de depósito CBD. El hidróxido de cadmio podría separarse en óxido de cadmio y vapor de agua durante el tratamiento térmico del CdS, por lo que en las películas dan lugar a una mezcla de CdS+CdO [14]. Un tratamiento térmico en ambiente inerte sería lo adecuado.

En este trabajo se presenta un estudio del efecto de la temperatura durante el depósito de películas delgadas de CdS crecidas por medio de la técnica de depósito por baño químico en un rango de 75°C a 85 °C y un tratamiento térmico pos-depósito a 400°C. Se caracterizaron y analizaron las propiedades estructurales, morfológicas y ópticas. La brecha de energía fue calculada en relación con la temperatura de depósito.

2. Detalles Experimentales

2.1 Síntesis de las soluciones precursoras

La preparación se llevó a cabo con acetato de cadmio $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.033 M como fuente de iones Cd^{2+} , produciendo una gran cantidad de ion libre (Cd^{2+}), de modo que, el acetato de amonio $\text{NH}_4(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 1 M se añadió al sistema para formar compuestos de moderada estabilidad con el Cd^{2+} . Por otro lado, la Tiourea ($\text{CS}(\text{NH}_2)_2$) 0.067 M como fuente de iones S^{2-} , esta sustancia contiene al azufre (S_2) enlazado covalentemente con el carbono (C), por lo que no aporta directamente iones S^{2-} . Estos son aportados por la reacción de hidrólisis en medio básico de la tiourea, la cual transcurre por mecanismos complejos en los que se forman productos intermedios. Cada una de las soluciones de este paso fueron preparadas por separado, siendo estas disueltas en 10 ml de agua desionizada. Para llevar a cabo el pesaje de los solutos, se utilizó la ecuación general de concentración y la ecuación de la masa real considerando la pureza del reactivo.

$$m_{\text{teórica}} = C \cdot V \cdot PM [=] \left(\frac{\text{mol}}{\text{L}} \right) (\text{L}) \left(\frac{\text{g}}{\text{gmol}} \right) [=] (\text{g}) \quad (1)$$

$$m_{\text{Real}} = \frac{m_{\text{teórica}}}{\% \text{Pureza}} \cdot 100 \quad (2)$$

2.2 Depósito y tratamiento térmico de películas delgadas de CdS

Para la obtención de las películas delgadas de CdS se colocó sobre la parrilla el reactor para baño químico (figura 1a), al cual se le agregan las soluciones precursoras excepto la solución de tiourea y se coloca el agitador magnético dentro del vaso reactor. Inicialmente en el reactor con 450 ml de agua desionizada se agregan los sustratos y se lleva a una temperatura de 75, 80 y 85 °C por un tiempo de 30 minutos con agitación magnética. Finalizado este tiempo, se procede a agregar los tres primeros compuestos. Se añadieron las soluciones acuosas en cantidades adecuadas y en el orden $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (8ML) + $\text{NH}_4(\text{CH}_3\text{COO})_2$ (5ml) + NH_4OH (13.5 ml).

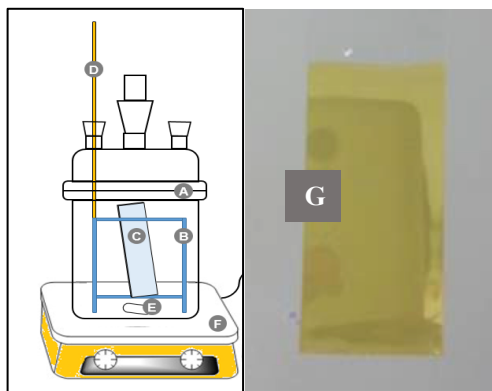


Figura 1. Depósito de películas delgadas de CdS. A. Reactor para baño químico. B. Porta muestras. C. Sustrato. D. Termómetro 0°C-100 °C. E. Agitador magnético. F. Parrilla eléctrica con agitación magnética y G) película delgada de CdS.

Al agregar los primeros dos reactivos la temperatura de la solución bajo aproximadamente en < 2 °C, por lo que esperamos que el sistema alcance nuevamente la temperatura deseada para agregar la tiourea. Añadir la tiourea (3 ml cada 20 minutos). A partir de ese momento comenzamos a medir el tiempo de depósito del CdS, en ese punto inicia la reacción para obtener películas delgadas de CdS. La solución cambia a color amarillo al agregar la tiourea, en los últimos 20 minutos añadir 2 ml de la tiourea. Con este proceso finaliza la obtención de las películas delgadas de CdS. Las películas son guardadas para posteriormente comenzar con los procesos de caracterización (figura 3b).

Las películas delgadas de CdS fueron sometidas a un tratamiento térmico, para mejorar su cristalinidad. Las películas delgadas de CdS se trataron a 400 °C en un horno tubular marca MTI Corporation GSL-1100X (figura 2a) en atmósfera de nitrógeno (N_2) durante 60 min. En la figura 2b se muestran los resultados de las películas de CdS con tratamiento térmico, donde es posible observar que el color de las películas cambia.

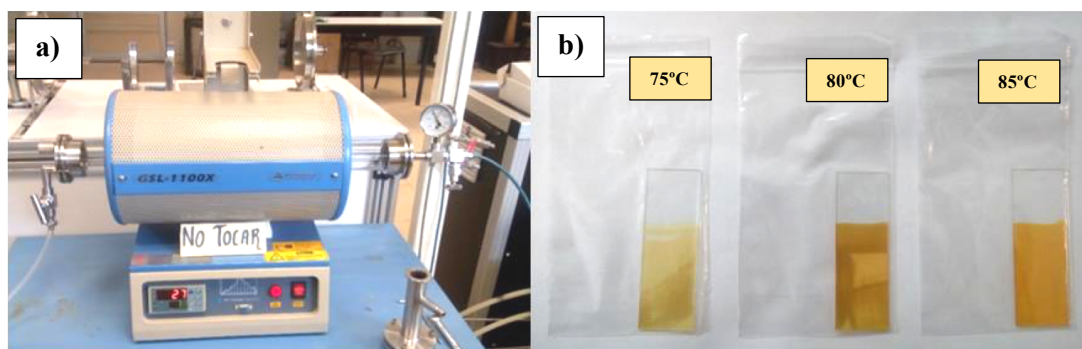


Figura 2. a) Horno tubular marca MTI Corporation GSL-1100X y b) películas de CdS con Tratamiento térmico

2.3 Caracterización

El intervalo de banda óptica de las películas de CdS se dedujo de los espectros de transmitancia de las películas depositadas sobre sustratos de vidrio y se midió utilizando un espectrofotómetro Agilent 8453, UV-Visible en el rango de 300-1100 nm. Para la difracción de rayos X (XRD) se usó un Rigaku D XRD (con 40 kV, 30 mA radiación de $CuK\alpha$, $\lambda = 1.54059$ nm). La muestra se montó a 2.5° y se exploró de $10^\circ - 80^\circ$ en pasos de 0.02° con una velocidad de exploración de $1.2^\circ \text{ min}^{-1}$. Las imágenes topográficas y la cuantificación de la rugosidad se han llevado a cabo con un microscopio de fuerza atómica Park Systems. Los espectros Raman se registraron con espectroscopía Raman (Jobin Yvon Horibra XploRA-PLUS) en el rango de 100 a 1200 cm^{-1} . La fuente de excitación fue la línea de 532 nm del láser de He-Ne. Con la técnica de perfilometría se obtuvo el espesor de las películas depositadas. El perfilómetro utilizado fue un AlphaStep D-500 Stylus Profiler de KLA-Tencor.

3. Resultados

Análisis de difracción de rayos X

Los patrones de XRD de películas delgadas de CdS, tanto depositadas a diferentes temperaturas (vírgenes) como tratadas térmicamente a 60 min, se muestran en la figura 3. La figura 3a muestra los patrones de XRD de las películas de CdS depositadas a temperaturas de 75, 80 y 85 °C a 60 minutos. La figura 3b es el patrón XRD de películas tratadas térmicamente posterior al depósito en nitrógeno a 400 °C durante 60 minutos.

En la figura 3a-b se presentan los espectros de difracción de las películas delgadas de CdS depositadas sin y con tratamiento térmico. En general, las películas de CdS son policristalinas y presentan 3 picos característicos del CdS, correspondientes a los planos (101), (110) y (112) de la fase hexagonal según la tarjeta PDF#41-1049 y a los planos (111), (220) y (311) de la fase cúbica de acuerdo con la tarjeta PDF#10-0454. Estos resultados han sido reportados por algunos autores [15]–[17].

Para todas las muestras se ha observado que aparece un pico intenso aproximadamente 27° , que corresponde al plano hexagonal CdS (101) o plano cúbico (111). Esta orientación preferida puede deberse a la nucleación controlada que se produce en el proceso de crecimiento de la película [16]. Por lo tanto, se concluye que las películas de CdS orientadas preferidas se pueden preparar mediante el método de depósito de baño químico controlando la temperatura del baño.

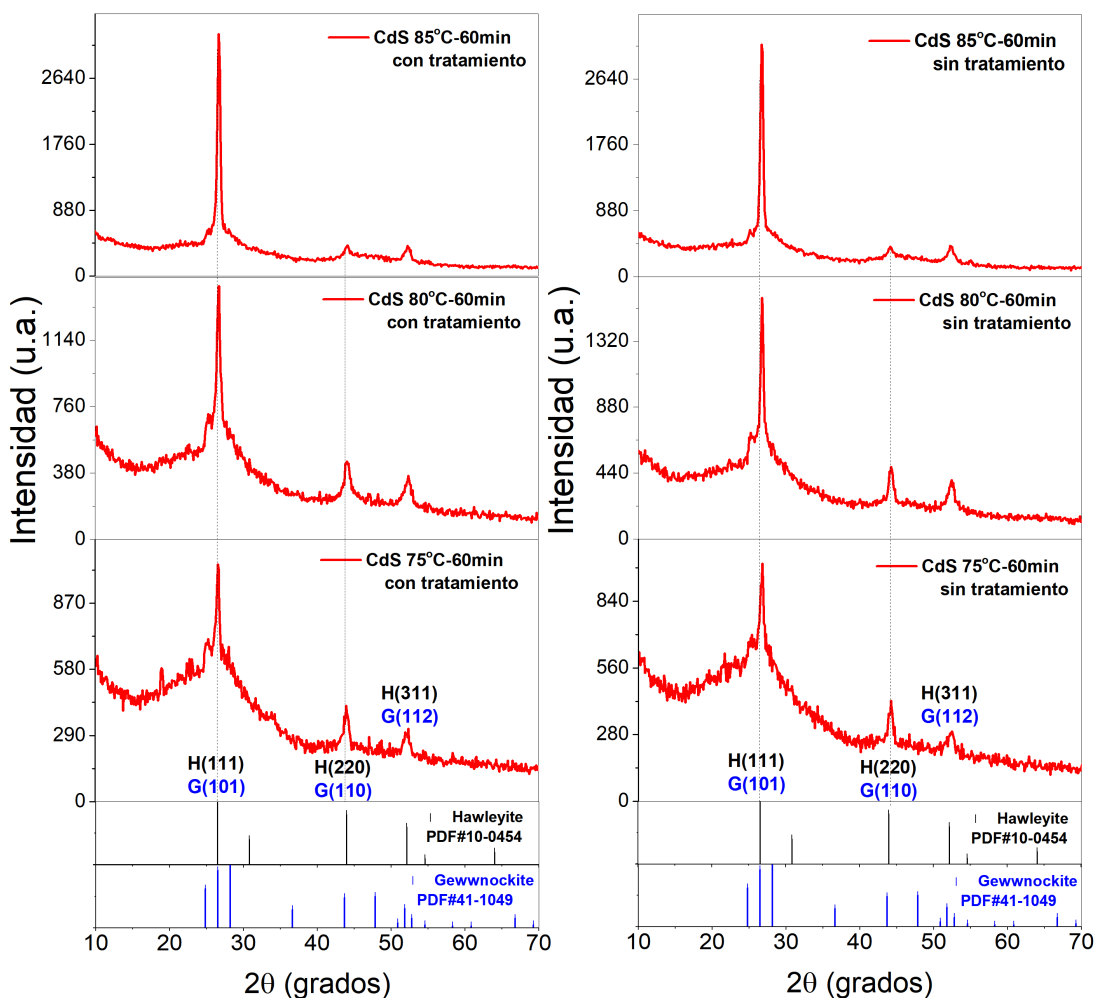


Figura 3. Patrones de DRX de películas delgadas de CdS depositadas y tratadas térmicamente posterior a la deposición: a) películas depositadas a diferentes temperaturas de depósito (75, 80 y 85 °C) y durante 60 min. b) patrones DRX de películas a 75, 80 y 85 °C y tratamiento térmico pos-depósito a 400 °C durante 60 min en ambiente de N₂.

La intensidad y definición de los picos mejora en función de la temperatura de depósito, lo que refleja que mejora la calidad cristalina. Se realizó el cálculo del tamaño promedio de cristal para todas las películas, usando la ecuación de Scherrer $D = K\lambda/\beta\cos\theta$ empleando el pico con la intensidad máxima, es decir el correspondiente al plano (002). Dónde: $K = 0.9$ es el factor de forma, λ es la longitud de onda de Rayos X, θ es el ángulo de Bragg, β es el ancho del pico a la mitad de la intensidad máxima (FWHM) y D es el tamaño promedio del cristal o grano.

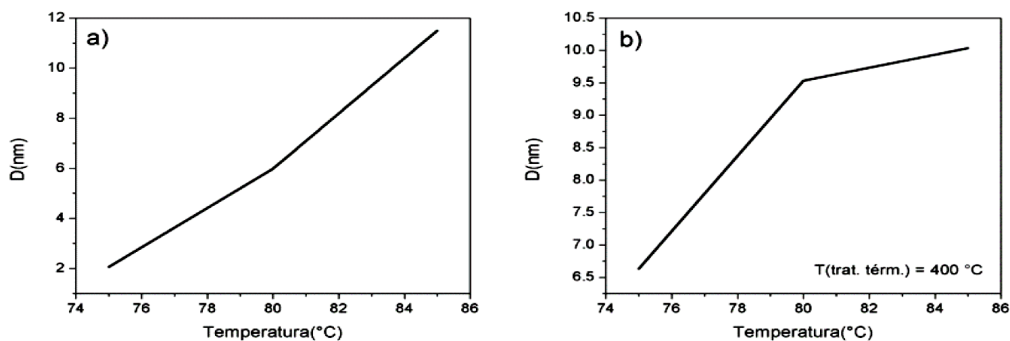


Figura 4 Incremento del tamaño de grano promedio D (nm) con respecto a la temperatura de depósito para: a) películas delgadas de CdS sin tratamiento térmico y b) películas con tratamiento térmico con N₂ a 400 °C.

El aumento del tamaño de cristalito promedio D (nm) con respecto a la temperatura de depósito de las películas sin tratamiento térmico se presenta en la figura 4a. Cuando la temperatura de depósito se incrementó a $85\text{ }^{\circ}\text{C}$, el tamaño del grano aumenta de 2.06 nm de la película depositada a 11.5 nm aproximadamente. Debido a que el aumento de la temperatura incrementa la velocidad de reacción. La figura 4b muestra el aumento del tamaño de cristal con respecto a la temperatura de depósito de las películas con tratamiento térmico. Como se puede ver en la figura 4b, el tratamiento térmico de las películas posterior al depósito con nitrógeno a $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 60 minutos tiene una influencia significativa en el tamaño de los granos, se observa que el tamaño del grano aumenta de forma lineal de 6.63 nm de la película depositada a 10.03 nm . El tamaño del grano para las películas depositadas con y sin tratamiento permanecen más o menos constantes con una tendencia a aumentar ligeramente de tamaño.

Análisis de microscopía de fuerza atómica AFM

La figura 5a-b muestra que los valores de $\text{RMS} = 9\text{--}10\text{ nm}$ y $\text{Ra} = 7\text{--}8\text{ nm}$ están en el mismo orden que los reportados en la literatura [18,19] y no depende significativamente de las condiciones de deposición. Se puede observar que los aglomerados son pequeños y uniformes en su superficie para todas las películas. Es importante tener en cuenta que los valores obtenidos son promedios y hay una variación estadística asociada a ellos, que depende de la ubicación en la muestra donde se realizó la medición. La topografía de la superficie de todas las películas de CdS sin tratamiento térmico, se puede observar una superficie lisa baja con un promedio de rugosidad de 7 nm , al lado de un pequeño número de cumbres que aparecen con un valor bajo del cuadrado medio de la raíz (RMS). Los resultados también muestran un aumento en la homogeneidad de la superficie con un pequeño aumento en el valor promedio de la rugosidad, como se muestra en la Tabla 1. En la figura 6a-c se muestra la morfología de las películas de CdS con tratamiento térmico a $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se observa que los valores de cuadratura media de la raíz (RMS) y la rugosidad media (Ra) aumentaron a valores no muy altos, para el $\text{RMS} = 13\text{--}16\text{ nm}$ y $\text{Ra} = 10\text{--}12\text{ nm}$ (ver Tabla 1). Se observan aglomerados bien definidos que aumentan de tamaño con el tratamiento, la topografía de las películas con y sin tratamiento son casi similares, mientras que el tamaño de aglomerados aumenta en general con el tratamiento térmico al igual que la rugosidad [19,20]. Esto nos da una idea de lo plano o de la rugosidad suave de las películas tratadas térmicamente.

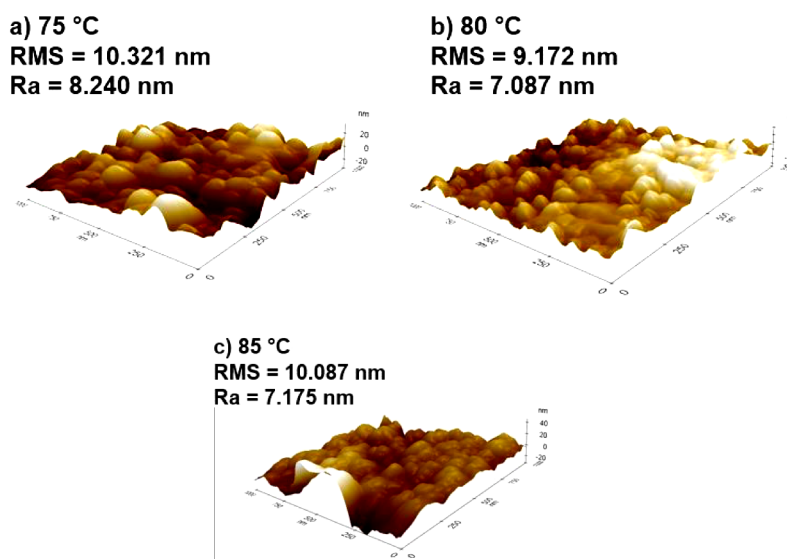


Figura 5. Micrografías AFM en 3D de las películas delgadas de CdS depositadas: a) $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, b) $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ y c) $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ sin tratamiento térmico.

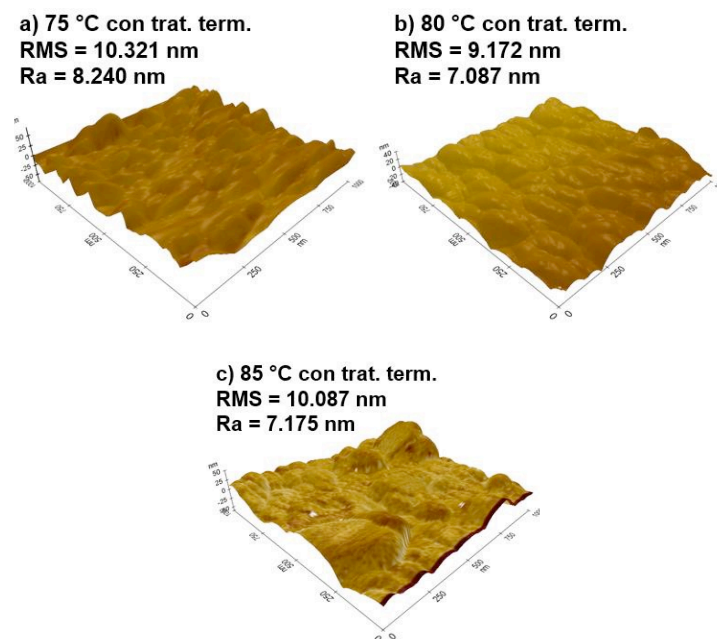


Figura 6. Micrografías AFM en 3D de las películas delgadas de CdS depositadas: a) 75 °C, b) 80 °C y c) 85 °C; con tratamiento térmico a T = 400 °C.

Tabla 1. Los parámetros de AFM de películas delgadas de CdS.

Temperatura de depósito de Películas delgadas de CdS	RMS (nm) sin tratamiento térmico	RMS (nm) con 400°C de tratamiento pos-depósito	Ra (nm) sin tratamiento térmico	Ra (nm) con 400°C de tratamiento pos-depósito
75 °C	10.321	13.182	8.240	10.215
80 °C	9.172	9.237	7.087	7.216
85 °C	10.087	16.434	7.175	12.812

Análisis de espectroscopia Raman

En la figura 7a-c se muestra la formación de un pico de dispersión Raman característico del material Sulfuro de Cadmio, para las tres películas delgadas desarrolladas mediante el método CBD. El pico es observado a 305 cm^{-1} en las tres películas, y se atribuye al modo del fonon de CdS del 1LO (longitudinal óptica). El modo de fonones 1LO, de CdS en cristal único se produce a 305 cm^{-1} . Con el aumento de la temperatura de depósito de las películas delgadas de CdS no se observa ningún desplazamiento del pico Raman observado a 305 cm^{-1} , pero si un aumento de la intensidad del pico 1LO, lo que indica que estas películas tienen una mejor estructura. El incremento en la intensidad de los picos que se aprecia es probablemente debido a un incremento del espesor.

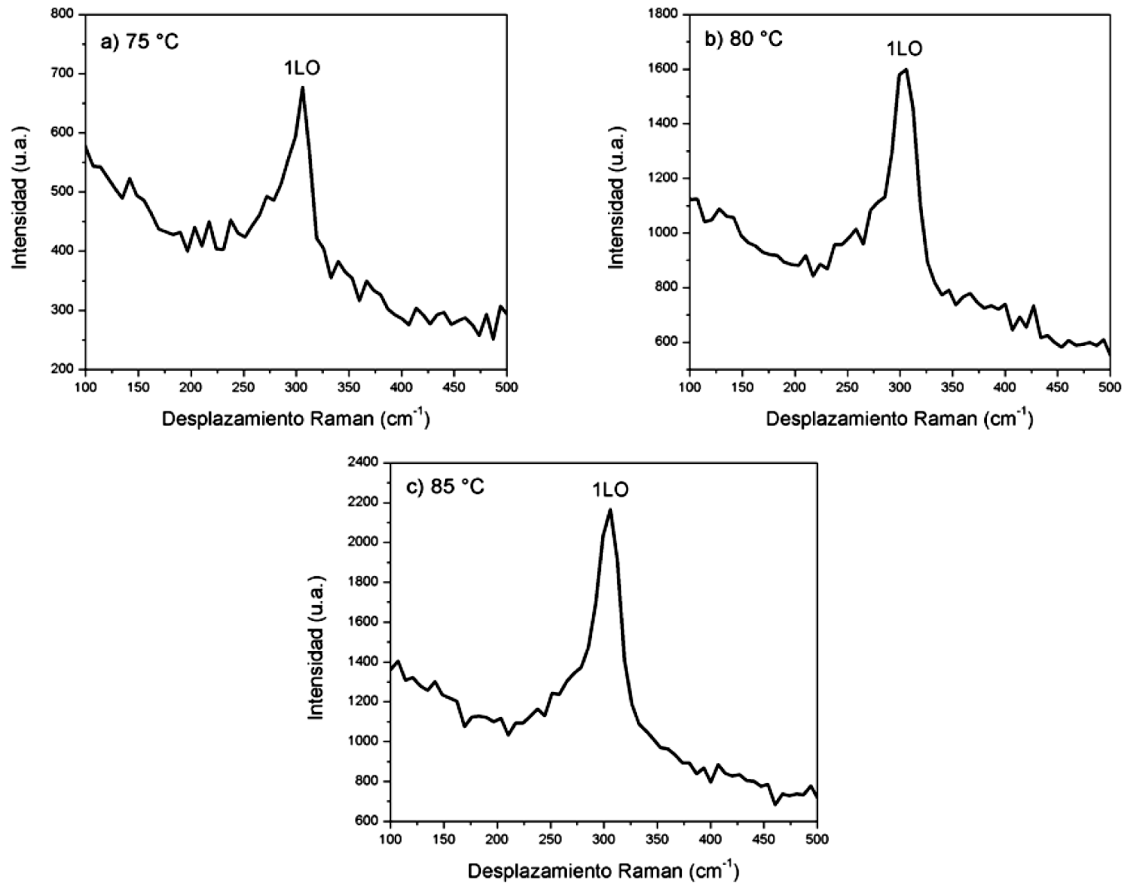
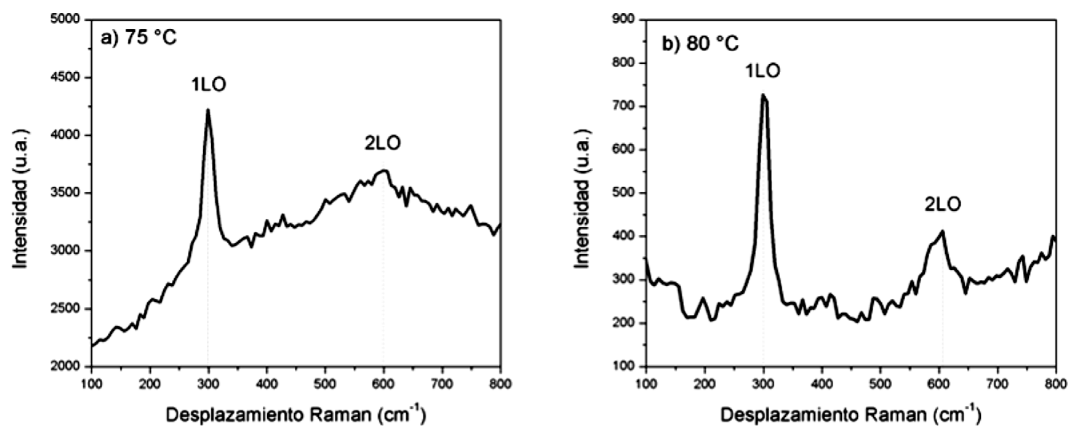


Figura 7. Espectros Raman de películas de CdS depositadas a diferentes temperaturas: a) 75 °C, b) 80 °C y c) 85 °C.

La figura 8a-c muestra la influencia del tratamiento térmico en los espectros típicos Raman de películas delgadas de CdS depositadas mediante el método de depósito CBD. Cada espectro tiene al menos dos picos principales característicos de este material, uno a 305 cm⁻¹ llamado 1LO (longitudinal óptica) y el otro a 604 cm⁻¹ llamado 2LO (primer sobretono). Estos picos se pueden identificar como los matices múltiples de los fonones ópticos longitudinales (LO) comparándolos con los espectros CdS Raman obtenidos por investigaciones anteriores [21,22]. Estos perfiles de espectro Raman son independientes del espesor que oscila entre 98 y 290 nm.



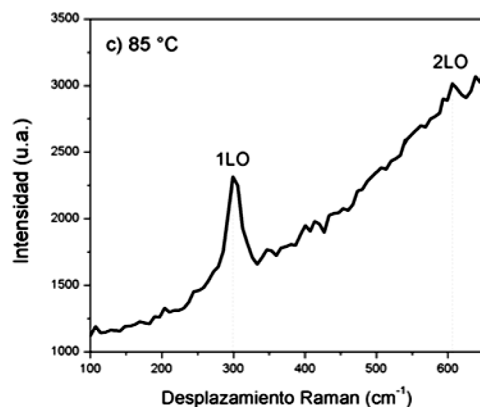


Figura 8. Espectros Raman de películas de CdS depositadas a diferentes temperaturas: a) 75 °C, b) 80 °C y c) 85 °C.

La Tabla 2 muestra la comparación, en número de onda, de los modos LO de nuestras películas con las de películas de un solo cristal de CdS [23]. Aquí, los números de onda de los modos LO de nuestras películas, cambiaron ligeramente a valores más bajos en comparación con los modos LO de un solo cristal. Estos cambios, según Chuu et al. [24], se deben a la pequeña dispersión de vectores de onda de fonones en modo LO en películas policristalinas. Además, la baja frecuencia del desplazamiento del pico Raman 1LO observado en este trabajo también puede atribuirse al efecto causado por el tamaño del grano, es decir, el efecto de las dimensiones en las propiedades de vibración en pequeños cristales [25].

Tabla 2. Comparación en el número de modos de LO de nuestras películas con las de películas delgadas de CdS monocristalinas.

Películas delgadas de CdS	Cambio Raman (cm ⁻¹)			
	1LO	2LO	3LO	4LO
Cristal único [40].	305	604	909	1200
75 °C	299.2	603	-	-
80 °C	332	604	-	-
85 °C	359	604	-	-

Consideremos por un momento el modo 1LO dominante en las películas de CdS desarrolladas por el método CDB. El número de onda de este modo dentro del error experimental que es inferior al 1% es 299.4 cm⁻¹ en películas depositadas a 85 °C, 299.2 cm⁻¹ en películas de depositadas a 75 y 80 °C, donde 5.8 y 5.6 cm⁻¹ son cambios respectivos de 305 cm⁻¹ del CdS monocristalino. El 1LO en las películas de CdS, tienen menor cambio, lo que indica que estas películas tienen una mejor estructura. Aunque el cambio de 1LO en las películas es un poco grande, son simétrica, lo que significa que tienen una calidad estructural comparable [22]. Aunque el análisis de Raman no distingue generalmente entre las estructuras de zinc blenda y wurtzita de CdS, en este caso, como en el pasado, ha mostrado variaciones sutiles en la estructura de nuestras películas [22]. En la figura 9 se observan los espesores de las películas delgadas de CdS en función de la temperatura de depósito.

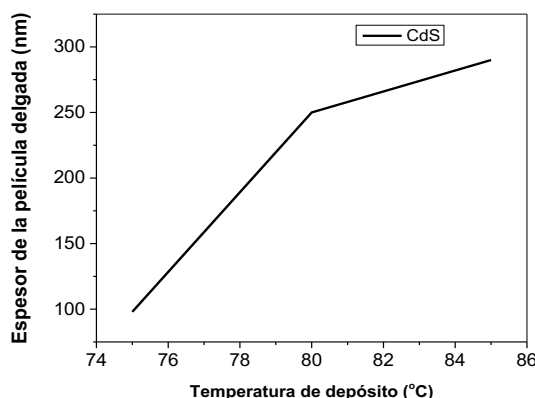


Figura 9. Variación de espesor de películas delgadas de CdS depositadas a diferentes temperaturas de depósito.

Las películas de CdS que fueron tratadas térmicamente a 400 °C con nitrógeno no presentaron cambios en su espesor, es decir, que no hubo una influencia del tratamiento en el espesor de las películas delgadas. Mismos valores son representativos de todas las películas con y sin tratamiento térmico. Como se ve en la figura, el espesor de la película aumenta linealmente con el aumento de la temperatura del depósito. Aumenta de 98 nm a 290 nm cuando la temperatura del baño aumenta de 75 °C a 85 °C. Se ha informado de que las películas de CdS demasiado gruesas conducen a la reducción del fotón en la capa absorbente. Sin embargo, en el presente estudio se ha controlado el espesor de la película CdS simplemente controlando la temperatura del depósito en el método CBD.

Análisis óptico

La figura 10 muestra los espectros de transmitancia UV-Visible para todas las películas delgadas de CdS depositadas a 75, 80 y 85 °C durante 60 min y tratadas térmicamente con N₂ a 400 °C después de ser depositados, en un rango de longitud de onda de 300-1100 nm para todas las películas. La figura 10a muestra los espectros de transmitancia UV-Visible para las tres películas de CdS depositadas a 75, 80 y 85 °C durante 60 min sin tratamiento térmico. Todas las películas tienen una transmisión alta. La transmisión promedio en el rango de longitud de onda ~530-1100 nm tiene valores entre 70% y 79%. Se puede observar que la transmitancia de la película disminuye rápidamente con el aumento a la temperatura de depósito de 75 °C a 85 °C. En la tabla 3 se observa que la transmitancia en la película depositada a 75 °C es mejor que la de las otras dos películas, debido a la menor dispersión de la luz en su superficie. Otra observación sobre estos espectros de transmisión es que las películas tienen un pequeño desplazamiento hacia el rojo (hacia longitudes de onda más largas).

En la figura 10b se puede ver que las transmitancias de las películas delgadas de CdS aumentaron con la temperatura de tratamiento térmico con nitrógeno para alcanzar en un promedio en el rango de longitud de onda ~500-1100 nm un valor máximo de 82% a 75 °C y luego disminuyeron a un valor de 71% a 80 °C (ver Tabla 3).

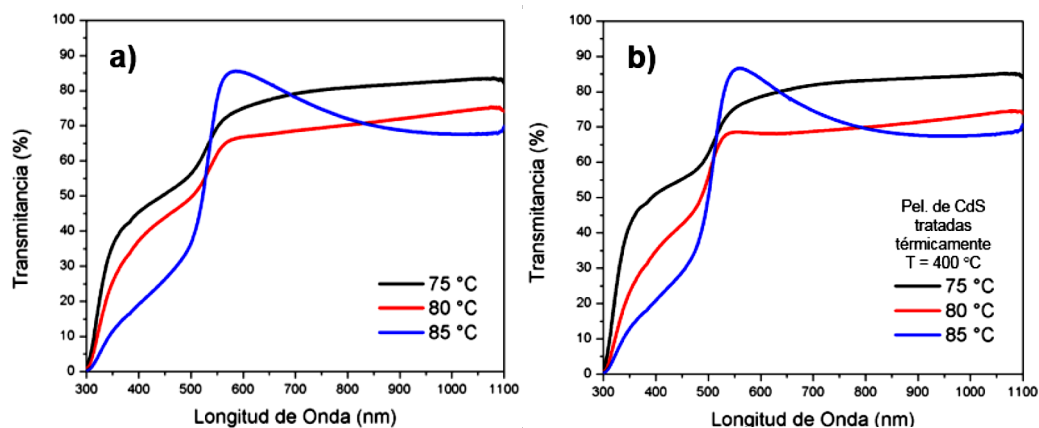


Figura 10. Espectros de transmitancia UV-Visible de películas delgadas de CdS depositadas a diferentes temperaturas; a) películas depositadas sin tratamiento térmico y b) espectros de transmitancia de películas depositadas y tratadas térmicamente a 400 °C durante 60 minutos.

Las películas que fueron tratadas térmicamente después de ser depositados obtuvieron una mejora en sus propiedades ópticas, además de un aumento en los espectros de transmisión es que las películas tienen desplazamiento hacia el azul (hacia longitudes de onda más cortas). Esto confirma, que el tratamiento mejora la cristalinidad del material. Y se refleja en su correspondiente intervalo de banda óptica [17]. En la figura 11a se muestra los valores de E_g para las películas de CdS depositadas sin tratamiento térmico, en el cual se aprecia que con el aumento de la temperatura de depósito hay un aumento de la banda prohibida de 2.11 a 2.24 eV (ver Tabla 3), el cual nos confirma la dependencia del intervalo de banda de las películas de CdS en diferentes temperaturas de depósito. La banda prohibida de las películas delgadas de CdS tratadas térmicamente con nitrógeno a una temperatura de 400 °C se muestra en la figura 11b en el cual se puede observar que el intervalo de banda aumento en cada temperatura de depósito de 2.22 a 2.33 eV (ver Tabla 3).

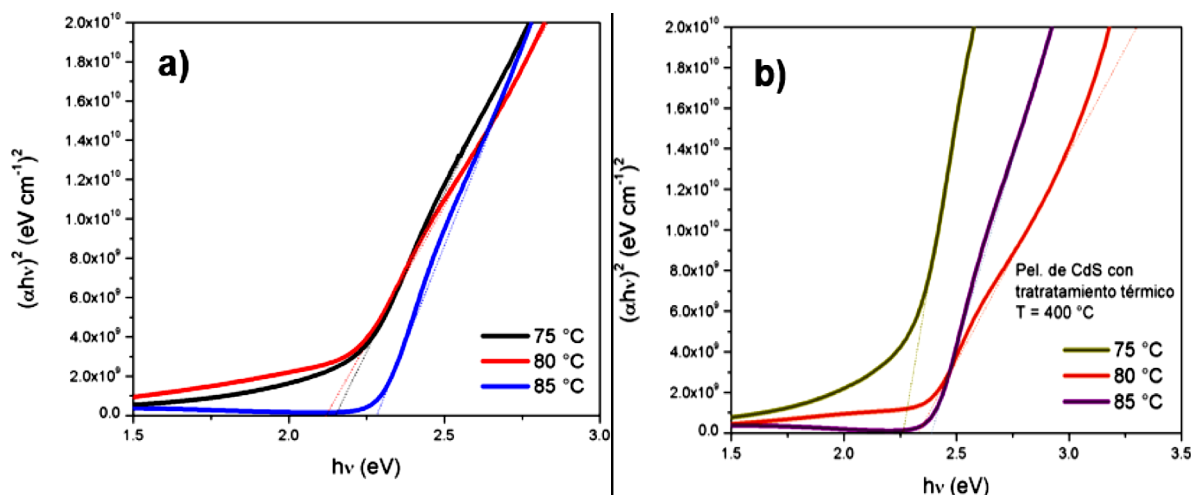


Figura 11. Brecha de energía de películas delgadas de CdS; a) películas depositadas a diferentes temperaturas y b) energía de intervalo de banda de películas con tratamiento en nitrógeno a 400 °C durante 60 minutos.

Tabla 3. Band gap de las películas de CdS desarrolladas a diferentes temperaturas.

Temperatura de depósito de Películas delgadas de CdS	E_g (eV) como fue depositado	E_g (eV) con 400°C de tratamiento pos-depósito
75 °C	2.11	2.22
80 °C	2.14	2.33
85°C	2.24	2.31

Estos valores se determinaron a partir de los espectros de transmisión de las muestras respectivas, aplicando el modelo para las transiciones directas permitidas entre las bandas de energía parabólica. La gráfica muestra datos $(\alpha h\nu)^2$ contra E , donde E es la energía del fotón. El valor de E se obtiene extrapolando las gráficas lineales $(\alpha h\nu)^2$ vs. $h\nu$ a $(\alpha h\nu)^2 = 0$ hacia eje x. un resumen de los valores E_g obtenidos para las películas de CdS se muestran en la tabla 3.

Trabajo a futuro

Este trabajo se obtuvieron las películas delgadas de CdS a diferentes temperaturas por el método de baño químico, lo cual es un método versátil para la modificación de parámetros con respecto a la obtención de materiales. El objetivo fue mejorar las propiedades optoelectrónicas de este material que se utiliza como material ventana en las celdas solares, que se aplicara en un futuro en acoplamiento con un material absorbedor CZTS (Kesterita), ya que tienen un alto porcentaje de conversión de la luz a energía eléctrica, además de aplicaciones en fotocatalisis con óxidos metálicos y celdas fotoelectroquímicas.

Conclusiones

Se depositaron y analizaron películas delgadas de CdS por el método de baño químico a diferentes temperaturas de depósito (75°C, 80°C y 85 °C) y un estudio de tratamiento térmico pos-depósito a 400°C durante 60min en ambiente de N₂. Las películas delgadas depositadas a una temperatura por debajo de 80°C mostraron una mezcla de fases Cubico-Hexagonal. Sin embargo, con el aumento de temperatura de depósito de 75°C a 85°C presentó una mejor cristalización hacia la fase cubica. Además de mostrar una tendencia con el aumento del espesor de la película y del tamaño de cristal de 98 nm a 290 nm y de 6.6 nm a 10 nm respectivamente. Con el tratamiento térmico pos-depósito no presentó fases secundarias como Cd(OH)₂ pero si un incremento del tamaño de cristal de 2 nm a 6.6 nm para la película depositada a 75°C. Para la película depositada por arriba de los 80°C no presenta cambios considerables en su tamaño de cristal después del tratamiento pos-depósito. De acuerdo con análisis de AFM las películas no mostraron un cambio significativo en su morfología en relación con la temperatura de depósito ni con el tratamiento térmico pos-depósito. Sin embargo, es claro el incremento del espesor en las películas de CdS cuando se incrementa la temperatura de depósito ya que aumenta la tasa de nucleación. La brecha de energía de las películas se calculó alrededor de 2.25 eV. Las películas depositadas a una temperatura menor a 80°C presentan varias pendientes de absorción debido a la mezcla de fases cubica-Hexagonal.

Referencias

- [1] K. C. Wilson and M. Basheer Ahamed, "Influence of bath temperature on surface modification and optoelectronic properties of chemical bath deposited CdS thin film nanostructures," *Materials Science and Engineering: B*, vol. 251, p. 114444, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.MSEB.2019.114444.
- [2] F. Göde and S. Ünlü, "Synthesis and characterization of CdS window layers for PbS thin film solar cells," *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 90, pp. 92–100, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.MSSP.2018.10.011.
- [3] C. S. Verma, N. Shukla, and P. Bose, "A Review On Chemical Bath Deposition Mediated Synthesis Of Binary/Ternary Photoconductive Metal Sulfide Thin Films," *ECS Transactions*, vol. 107, no. 1, p. 19647, Apr. 2022, doi: 10.1149/10701.19647ECST.
- [4] Z. R. Khan *et al.*, "Noticeably enhanced opto-electrical and photodetection performance of spray pyrolysis grown Mn: CdS nanostructured thin films for visible-light sensor applications," *Surfaces and Interfaces*, vol. 28, p. 101586, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.SURFIN.2021.101586.
- [5] H. Vilchis *et al.*, "Influence of III–V substrates on the texture, structural, and optical properties of CdS thin films deposited by chemical bath deposition," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 31, no. 5, pp. 4170–4177, Mar. 2020, doi: 10.1007/S10854-020-02967-X/FIGURES/6.
- [6] D. Li, C. Yang, S. Rajendran, J. Qin, and X. Zhang, "Nanoflower-like Ti₃CN@TiO₂/CdS heterojunction photocatalyst for efficient photocatalytic water splitting," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 47, no. 45, pp. 19580–19589, May 2022, doi: 10.1016/J.IJHYDENE.2021.11.044.
- [7] O. I. Diaz-Grijalva, D. Berman-Mendoza, A. Flores-Pacheco, R. López-Delgado, A. Ramos-Carrasco, and M. E. Alvarez-Ramos, "Cu-doped CdS thin films by chemical bath deposition and ion exchange," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 31, no. 2, pp. 1722–1730, Jan. 2020, doi: 10.1007/S10854-019-02690-2/FIGURES/6.
- [8] K. Hyon Chol, C. Hyon Ho, K. Yong Jo, and S. Gwang Il, "Effect of the reactant concentration, bath temperature and deposition time on the properties of CdS thin film prepared by the chemical bath deposition method," *Opt Mater (Amst)*, vol. 112, p. 110790, Feb. 2021, doi: 10.1016/J.OPTMAT.2020.110790.
- [9] X. Peng, L. Manna, W. Yang, J. Wickham, and E. Scher, "Kadavanich, a., and Alivisatos, AP, 'Shape control of CdSe nanocrystals,'" *Nature*, vol. 404, no. 6773, pp. 59–61, 2000.

- [10] A. al Salman, A. Tortschanoff, M. B. Mohamed, D. Tonti, F. van Mourik, and M. Chergui, "Temperature effects on the spectral properties of colloidal CdSe nanodots, nanorods, and tetrapods," *Applied Physics Letters*, vol. 90, no. 9, p. 093104, Feb. 2007, doi: 10.1063/1.2696687.
- [11] R. K. Sonker, B. C. Yadav, V. Gupta, and M. Tomar, "Synthesis of CdS nanoparticle by sol-gel method as low temperature NO₂ sensor," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 239, p. 121975, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.MATCHEMPHYS.2019.121975.
- [12] W. S. Hussein, A. Fadhil Ahmed, and K. A. Aadim, "Influence of Laser Energy and Annealing on Structural and Optical Properties of CdS Films Prepared by Laser Induced Plasma," *Iraqi Journal of Science*, vol. 61, no. 6, pp. 1307–1312, Jun. 2020, doi: 10.24996/IJS.2020.61.6.8.
- [13] S. Jassim, A. M. Abbas, M. Al-Shakban, and L. M. Ahmed, "Chemical Vapour Deposition of CdS Thin Films at Low Temperatures from Cadmium Ethyl Xanthate," *Egyptian Journal of Chemistry*, vol. 64, no. 5, pp. 2533–2538, May 2021, doi: 10.21608/EJCHEM.2021.60695.3451.
- [14] A. Bosio, G. Rosa, and N. Romeo, "Past, present and future of the thin film CdTe/CdS solar cells," *Solar Energy*, vol. 175, pp. 31–43, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.SOLENER.2018.01.018.
- [15] F. Liu *et al.*, "Characterization of chemical bath deposited CdS thin films at different deposition temperature," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 493, no. 1–2, pp. 305–308, Mar. 2010, doi: 10.1016/J.JALLCOM.2009.12.088.
- [16] J. P. Enriquez, "Effect of Annealing Time and Temperature on Structural, Optical and Electrical Properties of CdS Films Deposited by CBD," *Chalcogenide Letters*, vol. 10, no. 2, 2013.
- [17] Z. Rizwan, A. Zakaria, M. S. M. Ghazali, A. Jafari, F. Ud Din, and R. Zamiri, "Effect of Annealing Temperature on the Optical Spectra of CdS Thin Films Deposited at Low Solution Concentrations by Chemical Bath Deposition (CBD) Technique," *International Journal of Molecular Sciences 2011, Vol. 12, Pages 1293-1305*, vol. 12, no. 2, pp. 1293–1305, Feb. 2011, doi: 10.3390/IJMS12021293.
- [18] K. K. Nanda and S. N. Sahu, "Study of CdS nanocrystallites by AFM and Raman scattering spectroscopy," *Applied Surface Science*, vol. 119, no. 1–2, pp. 50–54, Sep. 1997, doi: 10.1016/S0169-4332(97)00177-3.
- [19] M. A. Martínez, C. Guillén, and J. Herrero, "Morphological and structural studies of CBD-CdS thin films by microscopy and diffraction techniques," *Applied Surface Science*, vol. 136, no. 1–2, pp. 8–16, Oct. 1998, doi: 10.1016/S0169-4332(98)00331-6.
- [20] A. H. A. Al-Fouadi, D. H. Hussain, and H. A. Rahim, "Surface topography study of CdS thin film nanostructure synthesized by CBD," *Optik (Stuttg)*, vol. 131, pp. 932–940, Feb. 2017, doi: 10.1016/J.IJLEO.2016.11.175.
- [21] M. Abdulkhadar and B. Thomas, "Study of raman spectra of nanoparticles of CdS and ZnS," *Nanostructured Materials*, vol. 5, no. 3, pp. 289–298, Mar. 1995, doi: 10.1016/0965-9773(95)00237-9.
- [22] I. O. Oladeji *et al.*, "Comparative study of CdS thin films deposited by single, continuous, and multiple dip chemical processes," *Thin Solid Films*, vol. 359, no. 2, pp. 154–159, Jan. 2000, doi: 10.1016/S0040-6090(99)00747-6.
- [23] O. Trujillo *et al.*, "CdS thin film deposition by CW Nd:YAG laser," *Thin Solid Films*, vol. 290–291, pp. 13–17, Dec. 1996, doi: 10.1016/S0040-6090(96)09065-7.
- [24] D. S. Chuu, C. M. Dai, W. F. Hsieh, and C. T. Tsai, "Raman investigations of the surface modes of the crystallites in CdS thin films grown by pulsed laser and thermal evaporation," *Journal of Applied Physics*, vol. 69, no. 12, p. 8402, Aug. 1998, doi: 10.1063/1.347405.
- [25] J. Lee, "Raman scattering and photoluminescence analysis of B-doped CdS thin films," *Thin Solid Films*, vol. 451–452, pp. 170–174, Mar. 2004, doi: 10.1016/J.TSF.2003.10.103.

Evaluación de la bacteria *Acinetobacter* con capacidad degradadora de hidrocarburos aislada de agua congénita

C. del C. Díaz-Reyes¹, M. E. Ojeda-Morales^{1*}, L. L. Díaz-Flores¹, Y. Córdova-Bautista¹, I. Fuentes-Domínguez²

¹División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Km. 1, Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, C.P. 86690, Cunduacán, Tabasco, México.

²División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Km. 1, Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, C.P. 86690, Cunduacán, Tabasco, México.

[*marcia.ojeda@ujat.mx](mailto:marcia.ojeda@ujat.mx)

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En este trabajo, se realizó el aislamiento y caracterización de la bacteria *Acinetobacter baumannii/calcoaceticus*, aislada a partir de agua congénita; se evaluó su capacidad de producir metabolitos de importancia en procesos de biorremediación. Para ello se realizó la caracterización del agua congénita (hábitat) de acuerdo a la NOM-143-SEMARNAT-2003, y del petróleo mediante métodos normalizados (ASTM, UOP y EPA), este fue empleado como sustrato en los bioensayos. A nivel *in vitro*, se evaluaron la viabilidad y crecimiento bacteriano en concentraciones extremas de temperatura, pH y salinidad. Los resultados demostraron, la capacidad de la bacteria de adaptarse y crecer a temperatura a 80 °C, pH 9 y salinidad de 15%. Además, de la capacidad de mineralizar hidrocarburos de tipo pesado en un suelo contaminado, alcanzando un valor final de 3812 mg.kg⁻¹ de HTP, con una población de 156.000 UFC; mediante el efecto del biotensioactivo de tipo lipopéptido, producido por esta cepa. Por lo anterior, el uso de esta bacteria representa una alternativa para el saneamiento de suelos y aguas contaminadas con hidrocarburos.

altas de alcalinidad y cloruros

Palabras clave: Bacterias, petróleo, biorremediación, biotensioactivo, caracterización.

Abstrac

In this work, the isolation and characterization of the bacterium Acinetobacter baumannii/calcoaceticus, isolated from congenital water, was carried out; its capacity to produce important metabolites in bioremediation processes was evaluated. For this, the characterization of congenital water (habitat) and oil, the substrate used in the bioassays, was carried out. At the in vitro level, viability and bacterial growth were evaluated at extreme concentrations of temperature, pH, and, salinity. The results demonstrated the ability of the bacteria to adapt and grow at a temperature of 80 °C, pH 9, and, a salinity of 15%. In addition, the ability to mineralize heavy-type hydrocarbons in contaminated soil, reaching a final value of 3812 mg.kg⁻¹ of PTH, with a population of 156,000 CFU; through the effect of the lipopeptide-type biosurfactant produced by this strain. Therefore, the use of this bacterium represents an alternative for the sanitation of soils and waters contaminated with hydrocarbons.

Key Word: Bacteria, oil, bioremediation, biosurfactant, characterization.

Introducción

La exploración y actividades de intervención de los recursos naturales, tales como la excavación de combustibles fósiles y la exploración de hidrocarburos han tenido, un impacto en el desarrollo de la industria y el crecimiento económico [1]. Sin embargo, algunas de estas actividades generan contaminantes como metales pesados y sustancias inorgánicas, orgánicas y compuestos recalcitrantes que van a parar a los ecosistemas, suelos, ríos y océanos siendo perjudiciales para la flora y fauna terrestre y marina; el empleo de la remediación de contaminantes mediante métodos fisicoquímicos, representa los altos costos y los grandes volúmenes de reactivos [2] [3]. Por otro lado, el uso de procedimientos biológicos para limpiar suelos y aguas contaminadas es

la biorremediación, representa una tecnología emergente que aprovecha la capacidad metabólica de los microorganismos (levaduras, bacterias, hongos y microalgas) plantas y sistemas biológicos (enzimas) para degradar, biotransformar estos contaminantes; los microorganismos tienen la capacidad de producir biotensioactivos siendo estos, moléculas anfifílicas que tienen propiedades emulsificantes y dispersantes, que reducen la tensión superficial e interfacial, aumentan la biodisponibilidad y facilitan la asimilación de sustratos insolubles [4] [1]. Los microorganismos con capacidad de biodegradar hidrocarburos están ampliamente distribuidos en diversos hábitats, dado que es un producto natural, puede ser utilizado por las bacterias como sustrato y transformarlos a CO₂ y agua, dejándolo disponible para la microflora y fauna, favoreciendo los ecosistemas [5].

La finalidad de este trabajo consistió en aislar y caracterizar un microorganismo proveniente de un medio de condiciones extremas de adaptabilidad y crecimiento, evidenciar su capacidad de utilizar el petróleo como fuente de energía, y hacerlo más biodisponibles mediante el proceso de biorremediación.

Metodología

Etapas I. Se caracterizaron muestras empleadas en diferentes etapas de la investigación, mediante una serie de análisis físicos y químicos. Para el desarrollo de los bioensayos se empleó un petróleo obtenido del pozo luna, ubicado en el municipio de Cárdenas Tabasco, analizado bajo los métodos normalizados de American Society for Testing and Materials (ASTM), Universal Oil Products (UOP) y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) [6], [7]. Así mismo se llevó a cabo el aislamiento del microorganismo de estudio, a partir de una muestra de agua congénita caracterizada según la norma oficial mexicana NOM-143-SEMARNAT-2003.

Análisis de Hidrocarburos.

Análisis de la densidad. De acuerdo con el método ASTM D70 se empleó un micropicnómetro el cual se calibró y se registró su peso, después se llenó con una muestra del crudo y se determinó su peso, esta prueba se realizó por triplicado. Su valor se determinó mediante el cálculo de la densidad ($\rho = m/v$).

Densidad ° API. Esta prueba se realizó según el método ASTM D287, Se determinó la gravedad específica (sg 60/60°F), mediante la conversión de la densidad calculada por el método ASTM D70 para muestra pesadas y ASTM D1298 para crudos ligeros.

Viscosidad saybolt. De acuerdo al procedimiento de la ASTM D88, se empleó un viscosímetro saybolt. Se vertió una muestra de petróleo en la celda del equipo y se programó a 59 °C ±1, una vez alcanzado este valor se procedió a correr la prueba y cronometrar el tiempo en segundos, en que la muestra tardó en pasar por el aforo de matraz volumétrico saybolt, este procedimiento se realizó por triplicado para su aprobación [6].

Punto de inflamación (Flash Point). La prueba se realizó según el procedimiento ASTM D92 para productos de petróleo con punto de chispa mayores a 79°C (excepto combustibles). Se instaló un sistema de calentamiento mediante un soporte universal y una placa eléctrica en la cual, se colocó la copa cleveland con la muestra de petróleo, se le colocó un termómetro, luego se inició el calentamiento paulatino, hasta alcanzar la temperatura a la cual, la mezcla vapor-aire podría iniciar una combustión mediante la ignición [8].

Análisis del agua congénita.

Análisis de alcalinidad. Se tomó un volumen de 25 mL de agua congénita en un matraz erlenmeyer de 250 mL y se adicionaron 2 gotas de disolución indicadora de fenolftaleína, se tituló con una disolución valorada de HCl al 0.02 N hasta el cambio del indicador de rosa a incolora, se registró la cantidad de mililitros gastados de HCl, luego se agregaron dos gotas de naranja de metilo como solución indicadora, con la titulación inmediata hasta alcanzar la disolución, luego se procedió a calcular el valor de la alcalinidad total.

Análisis de conductividad. Se utilizó un conductímetro portátil marca HANNA modelo HI8633; con un volumen de 20 mL de la muestra, colocada en un vaso de precipitado de 25 mL a una temperatura de 25 °C a la cual, se introdujo el electrodo del conductímetro para registrar la lectura.

Análisis de pH. Se utilizó el potenciómetro marca HANNA mod. HI8633, con un volumen de 20 mL a una temperatura de 25 °C, la muestra se colocó en un vaso de precipitado de 50 mL, se introdujo el electrodo durante un minuto hasta su estabilización y se registró la lectura indicada.

Análisis de turbidez. Se analizó a temperatura ambiente (28±1 °C), se colocó en las celdas del turbidímetro previamente calibrado, se tomó la lectura que se registró directamente el turbidímetro.

Análisis de cloruros totales. Se realizó con un volumen de 25 mL de muestra y se ajustó a un pH entre 7 y 10, empleando soluciones de NaOH al 0.1 N y H₂SO₄ 0.1 N. Se adicionó 1 mL de solución indicadora de K₂CrO₄, valorada con una solución patrón de AgNO₃ a 0.014 N hasta alcanzar el cambio del indicador (amarillo a naranja rojizo). Finalmente se determinó el cálculo de la concentración de iones cloruro (Cl mg·L⁻¹).

Etapa II. Aislamiento y caracterización de la cepa bacteriana

Aislamiento de cepas bacterianas por el método de extensión en placas

Se preparó en condiciones asépticas 250 mL del medio de cultivo agar Bushnell-hass (HIMEDIA®) para propiciar el crecimiento de bacterias degradadoras de petróleo [9]. El aislamiento se realizó en agar bushnell-hass (BH) adicionado con el 1 % de petróleo estéril, se agregó 0.1 mL de la muestra de agua congénita, la muestra fue extendida, según lo indica el procedimiento [10]. Se incubaron a una temperatura de $35 \pm 2^\circ\text{C}$ por 96 h.

Sembrado de colonias por el método de estrías cruzadas

La preparación del medio agar nutritivo se realizó de acuerdo al fabricante (DIBICO®) por lo que, a partir de las colonias expresadas en agar BH, se seleccionaron y sembraron mediante la técnica de estría cruzada en el medio nutritivo, se incubaron bajo condiciones de $35 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 96 h para su crecimiento.

Evaluación de la capacidad de las bacterias para degradar petróleo mediante ensayo in vitro.

En este ensayo se emplearon una cepa bacteriana expresada en el medio de agar BH identificada como AC362, AC395-1 y AC395-2. Se instalaron tres biorreactores a nivel matraz, cada unidad experimental contenía 250 mL del medio triple 17 esterilizado, 10 mL de inóculo de las cepas bacterianas y 1 mL de petróleo estéril.

Caracterización macroscópica de las unidades formadora de colonia (UFC). Siguiendo la metodología establecida por Madigan, se realizó al análisis morfológico de las UFC a nivel placa en medio BH, se identificaron sus características de elevación, tamaño, tipo de borde, consistencia y color [11].

Prueba de Tinción de Gram

Se realizar un frotis de la cepa, presentó mayor mineralización del petróleo en el ensayo in vitro. Sobre el frotis se aplicó cristal violeta durante 1 min y se retiró con agua destilada, se agregó yodo-yodurada de lugol durante 1 min y se lavó nuevamente, la muestra fue decolorada con alcohol-cetona durante 20 s, se retiró y se agregó la solución de safranina por 2 min, por último, se lavó y dejó secar a temperatura ambiente y se observó al microscopio óptico.

Pruebas bioquímicas API20E®

Esta prueba se aplicó a los cultivos de la cepa AC362 en agar base sangre (ABS) con 24 h de sembrado. De acuerdo al procedimiento de fabricante, para la identificación de Enterobacteriaceae y otros bacilos gram negativos no exigentes [12]. Un volumen de 5 mL de NaCl al 0.85 % se transfirió en un tubo de cultivo, con un hisopo estéril se le agregó un inóculo de la cepa bacteriana y con una pipeta graduada se tomaron 10 mL de la suspensión y se procedió a llenar los tubos de la galería, se incubó a $36 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 18-24 h.

Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM) de la célula bacteriana

El análisis se realizó a partir de la cepa AC362 de 24 h de aislamiento; se tomó con un asa bacteriológica un inóculo y se depositó en un tubo de cultivo estéril, con 20 mL solución amortiguadora de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 1\text{H}_2\text{O}$ con pH 7.2 a 0.2 M. Las células fueron lavadas cuatro veces, mediante centrifugación a 3000 rpm durante 10 min, retirando el sobrenadante. Después, se agregó 1 mL de glutaraldehído ($\text{CHO}(\text{CH}_2)_3\text{CHO}$) al 2 % al tubo con células y se sonicó por 5 min. Así mismo, con un asa se fijó una gota del concentrado celular sobre la rejilla del TEM y se cubrió con glutaraldehído durante 5 min. Luego, las muestras se deshidrataron con soluciones de etanol de concentraciones ascendentes con un tiempo de 10 min.

Etapa III. Condiciones del cultivo en el crecimiento bacteriano y producción de biotensioactivo

En biorreactores con volumen de trabajo de 1000 mL que contenían medio selectivo Kim para la producción de biotensioactivo se transfirió un 10 % de inóculo de la cepa AC362. Los biorreactores se mantuvieron conectados a un sistema de aireación a una tasa de flujo volumétrico de $1.21 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durante un periodo de 96 h. La producción de biomasa para obtener la cinética de crecimiento se midió por densidad óptica (DO) a 600 nm durante un periodo de 96 h. La cepa AC362 fue inoculada en 250 mL caldo nutritivo estéril; para desarrollar la cinética de crecimiento mediante la densidad óptica (DO) en un espectrofotómetro UV-Vis a 600 nm, hasta alcanzar una absorbancia de 0.3 [13]. Luego se transfirió el 10 % a un biorreactor con el medio selectivo kim en una proporción carbono/nitrógeno de 2.1, se mantuvo durante un periodo de 96 h.

Capacidad de la bacteria en la producción de biotensioactivo

Durante la producción del biotensioactivo se tomaron alícuotas de 10 mL de cultivo a los tiempos (h): 0, 24, 48, 72, 96 para la medición de la DO, así mismo, se tomaron muestras de 30 mL a partir del tiempo 0 hasta las 96 h, que fueron centrifugadas a 6000 rpm por 30 min a 4°C , para precipitar las células bacterianas y generar un caldo crudo libre de células (CLC) que contiene el biotensioactivo y sus componentes, esto se realizó con la finalidad de encontrar la máxima producción y posteriormente realizar la caracterización fisicoquímica y estructural del producto obtenido.

Identificación de lípidos polares. Se realizó mediante una cromatografía en capa fina, para lo cual, se depositó un 1 μL de la muestra sobre una placa de sílica gel 60 F254, luego se colocó en un sistema de solventes de cloroformo/acetona/metano/ácido acético/agua destilada a 6:8:2:21 v/v. Una vez que la solución disolvente ascendió por capilaridad, se aplicaron las soluciones reveladoras, utilizando diversas sustancias: difenilamina 2 g en 200 mL (glicolípidos), ninhidrina al 2 % (lipopéptidos) y una solución de azul de bromotimol 1 g en 100 mL de NaOH (fosfolípidos) y llevaron a calentamiento a 100 °C de 5-10 min.

Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR). Para soportar en análisis de cromatografía, se llevó a cabo una identificación de los grupos funcionales en un espectrofotómetro marca equipo Thermo Nicolet® iS 50, bajo un intervalo de 4500 a 400 $1/\text{cm}$ de número de ondas. Se tomó 0.1 mL de la muestra y se depositó en una cinta metálica de 4 cm^2 y se conservó en un medio libre de humedad previo a su análisis.

Etapas IV Evaluación de las propiedades extremófila y petrofilica de la bacteria.

Bioensayo I. Capacidad extremófila de la bacteria.

Se estableció un bioensayo con base en, un diseño unifactorial completamente aleatorizado para distintos tratamientos: temperatura (20 °C, 45° C, 80 °C), pH (5.0, 7.0, 9.0) y salinidad (10%, 15%, 25%). La prueba se realizó por triplicado en biorreactores a nivel *in vitro* con 250 mL de caldo nutritivo, con 10 mL de inóculo de la bacteria AC362; estos fueron conectaron a un sistema de aireación con una tasa de flujo volumétrico fue de $1.21 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, y se cuantificó la absorbancia cada 24 h durante un periodo de 120 h.

Bioensayo II. Capacidad para degradar de petróleo.

Se estableció un bioensayo para llevar a cabo la biorremediación de un suelo contaminado con petróleo al cual, se le agrego un inóculo de la cepa AC362 y se cuantificaron los HTPS y el conteo de las UFC mediante el método cuenta en placa cada 24 h, durante el tiempo de experimentación.

Resultados y discusión

La composición de la muestra del crudo evidenció un petróleo maya de tipo pesado, con base al valor calculado de la densidad (21.0 – 22.0 °API), según se muestra en la tabla 1. Siendo este tipo de petróleo la fuente principal de carbono que, permitió el desarrollo microbiano, mediante la degradación y asimilación los hidrocarburos presentes, y su conversión a ácidos grasos al interior de la célula [5]. Por lo tanto, analizar su composición es uno de los más importantes puntos para determinar la capacidad de biodegradación de un hidrocarburo [14].

Tabla 1 Caracterización del petróleo

Prueba	Resultado	Referencia
Densidad real	0.866 g/cm ³	ASTM D70
Densidad ° API	22.48325 ± 0.2566	ASTM D287
Flash point	81 ± 1 °C a 27 °C	ASTM D 88
viscosidad saybolt	14 s a 59 °C	ASTM D 88

Los resultados de análisis del agua congénita se muestran en la tabla 2 en la que, se observan valores altos de la alcalinidad y cloruros debido a carbonatos y bicarbonatos así como, un alto contenido de sales, presente en la muestra [15]. Lo anterior, permitió identificar las condiciones extremas en que se desarrollan las bacterias, así como, establecer las condiciones in vitro para el aislamiento de la cepa bacteriana.

Tabla 2. Caracterización del agua congénita

Prueba	Resultado	Límites máximos
Alcalinidad	225 mg/L	-
Conductividad eléctrica	3.80 mS/cm	-
pH	5.37 a 24 °C	5-10
Turbidez	161 NTU	220
Cloruros totales	11,225 mg/L	250

En el aislamiento en agar bushnell-haas se obtuvo, una población de cepas bacterianas que se etiquetaron como AC362 y presentaron una morfología homogénea la cual, se resume en la tabla 3. Las colonias expresadas se atribuye a su capacidad de utilizar el petróleo como única fuente de carbono presente en el medio [16].

Tabla 3 Análisis macroscópico de cepas bacterianas aisladas en agar BH

Cepa	Forma	Elevación	Borde	Tamaño	Superficie	Color
AC362	Colonias puntiformes	Elevada	Entera	Pequeña	Lisa	Mate

A partir de la población de cepas aisladas se realizó una prueba exploratoria de la mineralización del crudo, en medio triple 17, lo cual, mediante un análisis visual como se muestra en la figura 1, se observó su capacidad para llevar a cabo la mineralización de compuestos presentes en el crudo; este bioensayo se sustentó a posteriori en la cuantificación de HTPS.



Figura. 1 Ensayo de emulsificación del petróleo

Mediante la prueba de tinción de gram, se identificó a la cepa AC362 como una bacteria Gram negativa, debido a, la presencia de peptidoglucano componente principal de la pared celular; su capa lipídica repeló el cristal violeta [17], dando respuesta a una coloración fucsia y la aparición de formas de bacilos cortos, como se observa en la figura 2.

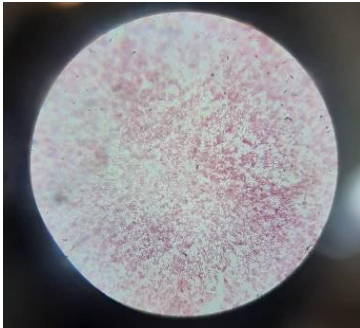


Figura. 2 Célula bacteriana gram negativa de la AC362

Mediante la caracterización fenotípica realizada por el sistema API 20E, los aislados de la cepa AC362, fueron identificados como *Enterobacteriaceae*, con capacidad para reducir el citrato, fermentar la glucosa y asimilar azúcares como la melibiose (MEL) y arabinosa (ARA) como se observa en la figura 3; se asume que, asimilar diferentes fuentes de carbono, además de, producir enzimas hidrolíticas (nitrato reductasa) [17]. Mediante el software de identificación apiweb™ se obtuvo con el 95 % ID el perfil numérico 0204042 correspondiente a la especie *Acinetobacter baumannii/calcoaceuticus*. Estudios anteriores, han reportado esta bacteria como un cocobacilo gram negativo aeróbico resistente a la ampicilina; además de su capacidad para consumir hidrocarburos y producir un biosurfactante del tipo emulsificante [11] [18].



Figura. 3 Resultado de la prueba taxonómica API 20 E® de la cepa AC362

En la figura 4, se observa la micrografía del análisis de TEM, de la célula bacteriana AC362 tomada a diferentes escalas: 1, 2, 10 μm y 500 nm (5 μm). En esta, se puede apreciar diferentes secciones que describen: A) La forma de agrupamiento de los cocobacilos gram negativos, B) El análisis preliminar, mediante Digital Micrograph de GATAN®, se obtuvo 1.270 μm de largo y 0.738 μm de ancho, C) La división celular en la fase exponencial, D) El alargamiento del diplococo y la duplicación de su material genético. Se evidenció la importancia de las características estructurales y morfológicas de la bacteria y su influencia sobre los mecanismos de degradación y mineralización de los hidrocarburos [11], [10], [5].

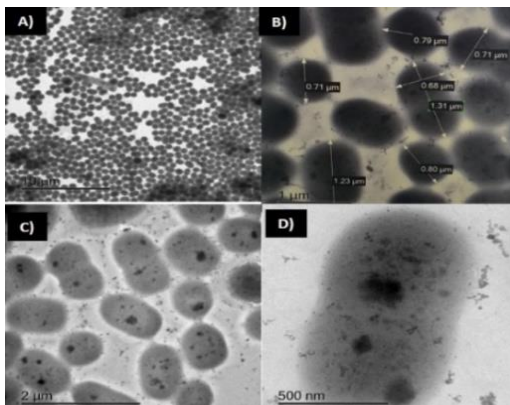


Figura. 4 Micrografía del TEM: A) Agrupamiento de los cocobacilos, B) Medición de tamaño, C) División, D) Alargamiento del diplococo y la duplicación de su material genético

En la producción de biomasa bacteriana a partir de la cepa AC362 en caldo nutritivo se alcanzó un valor de DO de 0.352 en un tiempo de 2 h de cultivo. Lo que, permitió la producción de biotensioactivo e medio Kim, obteniendo un DO de 0.725 en un tiempo de 72 h de cultivo como se muestra en la figura 5, lo que, se atribuye a una máxima producción de biotensioactivo por la bacteria *Acinetobacter baumannii/calcoaceuticus*.

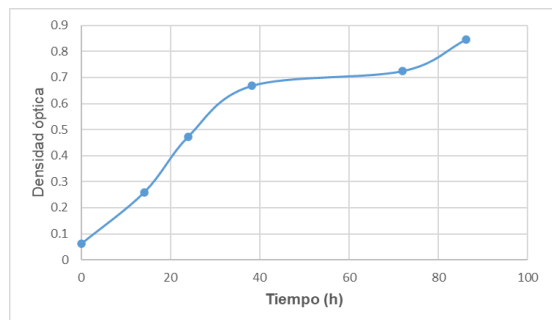


Figura. 5 Medición de DO de la bacteria *Acinetobacter b.* en medio Kim.

Para el análisis de la cromatografía se realizó la comparación mediante un patrón de referencias conocido (figura 6_A), en la placa con la muestra, (figura 6_B) se observó una coloración lila, con un valor de rf: 0.56-0.77, atribuido a, compuestos nitrogenados de aminoácidos presentes en la muestra [2]. Por lo anterior, se asume que el biotensioactivo obtenido, corresponde a un tipo lipopéptido. Estudios han reportado, la obtención del emulsán, sintetizado por *Acinetobacter sp.* Así como, lipoproteínas o lipopéptidos (surfactina y la subtilisina), producidos por *Bacillus subtilis* [17]: la surfactina es considerada de gran capacidad para reducir la tensión superficial del agua con valor de 72 mN a 27 mN [2].

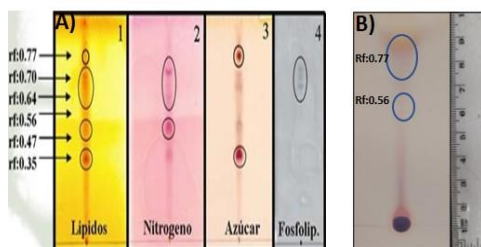


Figura. 6 A) Patrón de referencia, B) Biotensioactivo BTAC362

La figura 7, presenta el espectro del FT-IR en el que, se observan bandas de absorción atribuidas a los grupos funcionales presentes en la muestra. El pico intenso, situado en 2958 1/cm, debido al estiramiento de los enlaces C-H, debido a cadenas alifáticas de los hidrocarburos, así mismo, en la región 2647 1/cm, se observa el estiramiento de enlaces O=C-N, debido a las vibraciones de las amidas de los péptidos y los grupos carboxilos; el pico marcado en 1384 1/cm, se debe a los enlaces C-N de los grupos aminos, además de, radicales alquilos R-C situados en la región de 1267 1/cm.

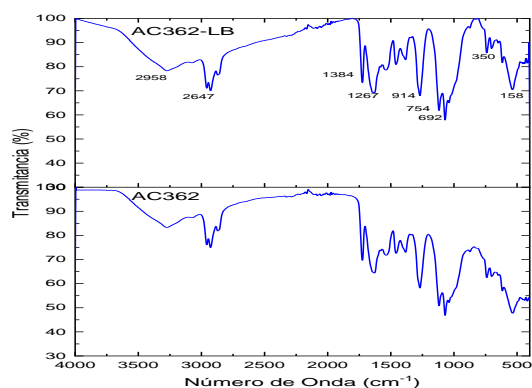


Figura. 7 Espectro de absorción del biotensioactivo BTAC362

El análisis de la capacidad extremófila de la *Acinetobacter b.* se realizó con base en, un diseño unifactorial completamente aleatorizado para distintos factores. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa Statgraphics Centurion™, a un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Para las gráficas se usó el paquete estadístico

Sigma Plot, v.14.0, y la prueba de Tukey. En la figura 8, se observan las tres curvas de absorbancia a diferentes temperaturas; resaltando que, a partir de las 24 h se mantuvieron constante en el experimento; sin embargo, a 80 °C se obtuvieron niveles altos de absorbancia y un valor máximo de 0.44, esto favoreció al crecimiento bacteriano.

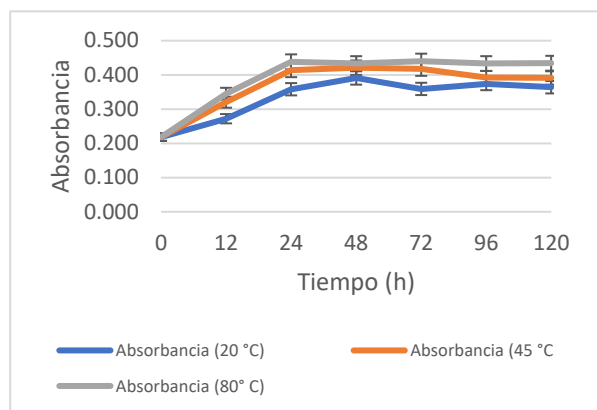


Figura. 8 Medición de absorbancia Vs tiempo a diferentes temperaturas

En la figura 9, se observa que todas las pruebas pares resultaron significativas (valor $p < 0.05$), entre los tratamientos, resaltando que, el valor promedio máximo de absorbancia fue de 0.393 correspondiente a la temperatura de 80 °C.

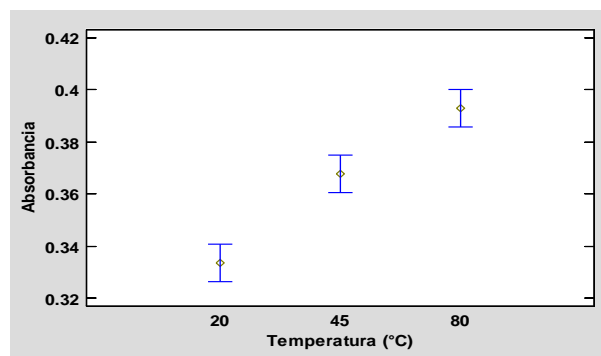


Figura. 9. Prueba Tukey entre los tratamientos de temperatura

En la figura 10, se observa que, los valores de absorbancia medida durante las 24 h se mantuvieron por igual para los tres tratamientos (pH 5, 7 y 9); a partir de, las 48 h se observó que, la curva a pH 9 tuvo un valor máximo de 0.74, además de, encontrarse por arriba de las otras dos (pH 5 y 7).

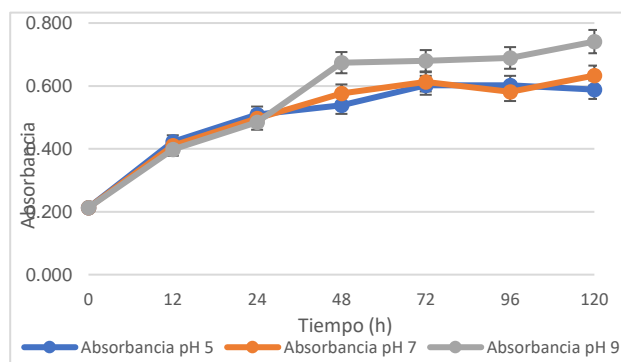


Figura. 10 Medición de absorbancia Vs tiempo a diferentes pH

Mediante el método de diferencia mínima significativa (HSD) de Tukey (figura 11) se encontró que, no existe diferencias significativas entre las medias de los tratamientos de pH (pH 5, 7 y 9), lo que indica que los 3 grupos

son homogéneos; entonces, se asumen que el factor pH no influye significativamente en la medición de la absorbancia.

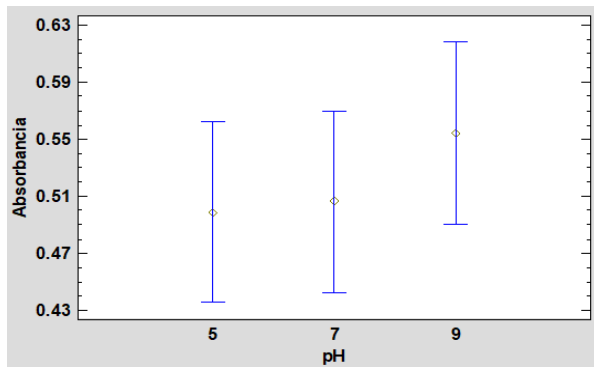


Figura. 11 Prueba Tukey entre los tratamientos de pH

En la figura 12. se observa que, a partir de las 48 h las tres curvas de salinidad se mantuvieron constante en la medición de la absorbancia, sin embargo, las curvas del 15 y 25 % de salinidad presentaron valores similares y por encima de la curva del 10 %. Se asume que para una concentración salina del 15 % resultó más conveniente ya que, se obtuvo un valor de 0.766 de absorbancia a las 72 h, favoreciendo al crecimiento de la población bacteriana.

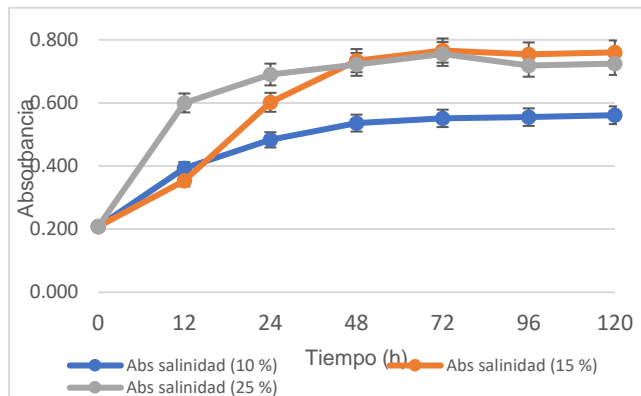


Figura. 12 Medición de absorbancia Vs tiempo a diferentes concentraciones salinas

En la figura 13, se observa que todas las pruebas pares resultaron con diferencias estadísticamente significativas (valor $p < 0.05$), con un valor promedio de absorbancia de 0.631238 para 25 % de salinidad. Se asume que el factor salinidad influye sobre la absorbancia lo que, a su vez, favoreció al crecimiento de la población bacteriana.

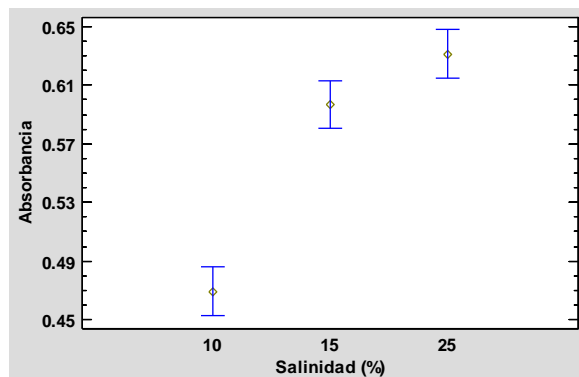


Figura. 13. Prueba de Tukey entre los tratamientos de salinidad

En la degradación del petróleo en la muestra de suelo contaminado alcanza una eficiencia de 3812 mg.kg⁻¹ con una población de 156.000 UFC en el tiempo 9 del tratamiento como se observa en la figura

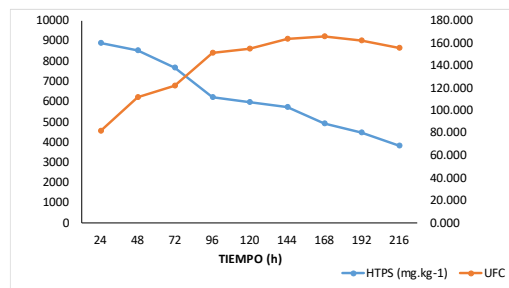


Figura. 14 Degradación de hidrocarburos por la *Acinetobacter*

Trabajo a futuro

Realizar la secuenciación molecular de la *Acinetobacter baumannii calcaceuticus* para conocer los mecanismos que influyen en la producción de biotensioactivos. Continuar con la caracterización fisicoquímica, biológica y de superficie del biotensioactivo, así mismo desarrollar unidades experimentales para la biorremediación de aguas contaminadas con hidrocarburo.

Conclusiones

Los resultados, indicaron que la muestra del petróleo crudo pesado, favoreció la biodisponibilidad como sustrato para las bacterias. Así mismo, el aislamiento de la cepa bacteriana a partir un agua congénita con las altas concentraciones de alcalinidad y cloruros (225 mg/L 11,225 mg/L), permitió el crecimiento de esta bacteria bajo condiciones extremas; con esto, se correlaciona la prueba de extremófilas donde a, temperatura de 80 °C, pH 9 y concentración salina del 15 % favoreció la adaptación y crecimiento de la *Acinetobacter baumannii/calcoacetivus*. Así mismo, en la biorremediación del suelo contaminado se demostró, su capacidad para degradar hidrocarburos; aunado a, sus características extremófilas, esta cepa resultó productora de biotensioactivo. Con estos resultados, se podría asegurar la eficiencia de un proceso de biorremediación de aguas emulsionadas con petróleo.

Agradecimientos

Al Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología Aplicada de Tabasco (CICTAT) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Por los análisis de FT-IR, bajo el asesoramiento de la Dra. Laura Lorena Díaz Flores. Y el laboratorio de Biotecnología de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura. Por las instalaciones en donde, se desarrolló esta investigación, mediante la supervisión de la Dra. Marcia Eugenia Ojeda Morales.

Referencias

- [1] T. G. Ambaye, M. Vaccari, S. Prasad, and S. Rtimi, "Preparation, characterization and application of biosurfactant in various industries: A critical review on progress, challenges and perspectives," *Environ. Technol. Innov.*, vol. 24, p. 102090, 2021.
- [2] C. B. B. Farias *et al.*, "Production of green surfactants: Market prospects," *Electron. J. Biotechnol.*, vol. 51, pp. 28–39, 2021.
- [3] A. K. Dangi, B. Sharma, R. T. Hill, and P. Shukla, "Bioremediation through microbes: systems biology and metabolic engineering approach," *Crit. Rev. Biotechnol.*, vol. 39, no. 1, pp. 79–98, 2019.
- [4] R. del C. Lara-Severino, L. M. Gómez Olivan, Á. H. Sandoval Trujillo, K. Isaac-Olive, and N. Ramírez-Durán, "Búsqueda de capacidad productora de biosurfactantes en actinobacterias haloalcalófilas y haloalcalotolerantes," *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 33, no. 3, pp. 529–539, 2017.
- [5] G. Varela and G. Grotiuz, *Fisiología y metabolismo bacteriano Metabolismo productor de energía*. 2008.
- [6] ASTM Internacional, "ASTM D 88-94. Método de Prueba Estándar para Viscosidad Saybolt," *Encycl. Dict. Polym.*, vol. 05, no. Reapproved, pp. 860–860, 2007.
- [7] A. N. G. Alliance, "Estándares," 2021. [Online]. Available: <https://www.api.org>.
- [8] A. W. Drews, *Manual on Hydrocarbon Analysis: 6th Edition*, 6 th. American Society for Testing and Materials, 1998.
- [9] M. A. Ramsay, R. P. J. Swannell, W. A. Shipton, N. C. Duke, and R. T. Hill, "Effect of bioremediation on

- the microbial community in oiled mangrove sediments," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 41, no. 7–12, pp. 413–419, 2000.
- [10] Y. Barrios-San Martín, S. Acosta, A. Sánchez, A. Toledo, F. González, and R. M. García, "Estudio y selección de bacterias aerobias degradadoras de hidrocarburos del petróleo aisladas de costas de Cuba," *Biotecnol. Apl.*, vol. 29, no. 2, pp. 73–79, 2012.
- [11] P. V. D. Madigan, Michel T., John M. Martinko, *Biología de los microorganismos*, 14a ed. 2015.
- [12] M. Nugroho, "Sistema Api 20 E," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 168–169, 2013.
- [13] R. C. G. Meléndez and M. O. Sánchez, *Las tinciones básicas en el Laboratorio de Microbiología: Un enfoque gráfico*. 2020.
- [14] D. Ortiz and J. Silva, "Efectos ambientales de los hidrocarburos. Una revision.," *Espec. en Control la Contam. Ambient.*, pp. 1–11, 2019.
- [15] Mijaylova Nacheva Petia, "Tratamiento de aguas de la desalación del petróleo," *Mex. Inst. Water Technol.*, 2016.
- [16] T. Hernández, P. Yurevna, H. Bautista, A. Govin, and S. Fernández, "Caracterización de bacterias aisladas de un yacimiento de petróleo Cubano.," *Av. en Ciencias e Ing.*, vol. 11, no. 4, pp. 115–133, 2020.
- [17] S. S. Varma, D. D. Wasnik, and P. M. Tumane, "Production and Characterization of Biosurfactant By Bacillus Subtilis Isolated From Soil Samples," *Int. J. Dev. Res.*, vol. 07, no. 08, pp. 14857–14864, 2017.
- [18] R. Ferrera-Cerrato, N. G. Rojas-Avelizapa, H. M. Poggi-Varaldo, A. Alarcón, and R. O. Cañizares-Villanueva, "Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos," *Rev. Latinoam. Microbiol.*, vol. 48, no. 2, pp. 179–187, 2006.

Sistema didáctico integral para el análisis del régimen laminar y turbulento de un fluido líquido

Jonathan Esteban Barbosa Contreras¹, Andrés Martínez Rosales², María de Jesús Oregan Silva^{3*}, Juan Carlos Vásquez Jiménez⁴, Serafín Reyes García⁵

^{1,2,3,4,5}Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán
Correo: maoregansilva@hotmail.com¹

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Actualmente existen equipos que miden el caudal de un fluido de alto costo y que no detectan las variables propias para alcanzar el Número de Reynolds, el cual es muy útil en la industria identificar el comportamiento de los fluidos, por lo que es necesario que el estudiante de ingeniería cuente con las habilidades y conocimientos en su operación y cálculos para experimentar su comportamiento para procesos industriales, por lo que en este proyecto se diseñó y desarrolló un equipo asequible y relativamente amigable para el usuario, donde se podrá operar y configurar los datos para obtener el número de Reynolds, donde intervienen variables físicas como el coeficiente de fricción, velocidad, densidad, viscosidad y aplicación de fórmulas y se pueda experimentar y apreciar de forma visual la transición del flujo laminar a turbulento, mediante el equipo integrado por una red de tuberías, sensores y equipo eléctrico residencial a bajo costo.

Palabras clave: Equipo, fluido, laminar, turbulento.

Abstract

Currently there is equipment that measures the flow of a high-cost fluid and that does not detect the variables themselves to reach the Reynolds Number, which is very useful in industry to identify the behavior of fluids, so it is necessary that the engineering student have the skills and knowledge in its operation and calculations to experience its behavior for industrial processes, so in this project an affordable and relatively user-friendly equipment was designed and developed where it will be possible to operate and configure the data to obtain the number of Reynolds where physical variables such as the coefficient of friction, speed, density, viscosity and application of formulas intervene and the transition from laminar to turbulent flow can be experienced and visually appreciated, through the equipment made up of a network of pipes, sensors and equipment low cost home electric

Key words: Team, fluid, laminar, turbulent

Introducción

El número de Reynolds juega un papel importante en la mecánica de fluidos y en la transferencia térmica porque es uno de los principales parámetros que caracterizan un fluido ya que se aplica en la industria para analizar su comportamiento. Se utiliza en el flujo de tubería y en canales de circulación de líquidos, en las suspensiones de partículas sólidas inmersas en un fluido y en emulsiones, se aplica en las pruebas del túnel de viento para estudiar las propiedades aerodinámicas de varias superficies como es en el caso de los aviones, en el diseño de reactores con la finalidad de escoger el modelo de flujo atendiendo a las pérdidas de carga, al consumo de energía y al área de transmisión de calor, en tuberías para identificar la pérdida hidráulica que está relacionada la fricción que existe entre el agua y las paredes de las tuberías. La pérdida de carga se calcula una vez que se obtiene el número de Reynolds. [1]

El sector educativo en el área de la Ingeniería es de suma importancia que se realice el estudio del comportamiento del fluido mediante la experimentación para que adquiera los conocimientos y habilidades mediante el desarrollo de proyectos que puedan diseñar, desarrollar para manipular y controlar el estudio del número de Reynolds.

En el presente proyecto se diseñó y desarrolló un sistema didáctico integral para el análisis del régimen laminar y turbulento de un fluido líquido con la finalidad de encontrar el número de Reynolds y así poder determinar en qué régimen de turbulencia o en su defecto laminar se encuentra un fluido en específico. El proyecto es integral por lo cual cuenta con dos partes principales:

El equipo: se encarga del manejo del líquido, la adquisición de los datos reales y envío de los datos (estructurado en telegramas en tiempo real) para su almacenamiento.

La interfaz: es una aplicación desarrollada en Visual Studio 2017 con compatibilidad para un SO Windows, se encarga de hacer la conexión por comunicación en serie con el equipo, maneja la información, inserta en una base de datos SQL y posteriormente utiliza los datos para construir las gráficas del comportamiento del fluido en un diagrama de puntos (basado en el diagrama de Moody) [4]

En el laboratorio de ingeniería es necesario contar con equipos para realizar prácticas enfocadas en el comportamiento de un fluido, debido a esto surge la inquietud de desarrollar un equipo automatizado donde se pueda visualizar el comportamiento de un fluido en sus tres formas: laminar, de transición y turbulento [5], dando la oportunidad al estudiante u operador de variar los parámetros en la interfaz, no sin antes conocer su manejo de operación incluyendo los códigos y proyecto, las conexiones eléctricas y electrónicas e hidráulicas.

De lo anterior se debe entender que el usuario es parte fundamental del proyecto, ya que este es quien configura o cambia los parámetros en la interfaz para poderla operar, también es el usuario quien en primera instancia debe entender el funcionamiento del equipo para poder interpretar la información y en dado caso hacer un "troubleshooting" si es necesario.

Los docentes de la ingeniería son los que le darán el uso requerido con los alumnos del área a fin, esto para manipular y observar el comportamiento de un fluido que se desplaza a través de una tubería, especialmente un líquido.

Metodología

El tipo de investigación considerada en este proyecto es la tecnológica por que comprende tres aspectos fundamentales que la conforman; el teórico, el experimental y el práctico ya que cuenta con los puntos: del pensamiento ingenieril en la aplicación del diseño, porque surge de una idea, porque cuenta con un objetivo y da como resultado el compromiso de las necesidades sociales enfocado a la necesidad de la industria y que se pretende satisfacer con el desarrollo tecnológico del equipo y su desarrollo efectivo que el conocimiento científico y tecnológico disponible permite. [6]

Durante el desarrollo de este proyecto se cumplirán los objetivos específicos relacionados al mismo.

- Diseñar un equipo funcional donde puedan fluir líquidos en recirculación.
- Diseñar un esquema eléctrico para la conexión de actuadores eléctricos de fuerza (monofásicos).
- Diseñar un esquema electrónico para la conexión de actuadores eléctricos de control (0 – 24 VCD).
- Seleccionar una tarjeta reprogramable fiable, asequible y de amplio espectro de funcionalidad.
- Construir el equipo físico, los circuitos eléctricos y electrónicos.

A la par se trabajó con el proyecto "Interfaz gráfica para un sistema didáctico para el análisis del régimen laminar y turbulento en un fluido líquido" para realizar pruebas de funcionamiento y alcanzar el objetivo general.

Materiales

Se seleccionaron los siguientes materiales para la fabricación y ensamble de la estructura y circuito hidráulico, considerando propiedades físicas y económicas de acuerdo con el alcance.

1.5 M² de lámina galvanizada calibre 16, 3 tramos(6mts) de perfil tubular PTR 1" calibre 16, 2 Ruedas fijas, 2 Ruedas locas, 4 abrazaderas para ½", 1 tramo (6mts) tubería PVC ½" ced.40, 1 metro de tubería acrílico ½", 9 tuercas unión ½" cementado ced.40, 3 válvulas bola ½" cementado ced.40, 7 codos 90° ½" cementado ced.40, 3 T ½" cementado ced.40, 2 coples ½" cementados ced.40, 2 coples ¾" roscados ced.40, 2 reducciones roscados

$\frac{3}{4}$ "- $\frac{1}{2}$ " ced40, 4 adaptadores macho $\frac{1}{2}$ " ced.40, 2 adaptadores macho 1" ced.40, 2 reducciones cementados 1"- $\frac{1}{2}$ "., 1 manómetro de glicerina 0-7 kg/cm²., 1 Porta filtro de 2.5" de diámetro por 10" de largo con entrada de $\frac{1}{2}$ ". Cartucho con carbón activado de 2.5" x 10" para remoción de cloro, olor y sabor., 1 llave para porta filtro., 1 soporte para porta-filtro., 1 pichanca de $\frac{1}{2}$ "., Contenedor de acrílico con medidas: 33cm x 28cm x 44cm para agua.

Se utilizaron los siguientes componentes eléctricos – electrónicos de acuerdo a especificaciones de las mismas y al diseño del equipo: 1 Bomba periférica BOAP- $\frac{1}{2}$ HP Truper 120 VCA, 60Hz, 5A, 36 L/min, 1 Sensor de flujo FS300A, 1 Sensor de temperatura LM35., 1 Dimmer., 1 Placa Arduino Mega 2560., 1 Servomotor MG90S, 2 Luz piloto verde 120Vca ABB, 1 Luz piloto Rojo 120Vca ABB, 1 Selector 2 posiciones, 1 Gabinete de acero al carbón 30cm x 25cm x 15cm ARGOS, 1 Interruptor termo magnético, Clemas para conexión, 6 Metros de cable uso rudo 3x16, 1 Clavija para uso rudo 120 VCA, 2 Metros de cable calibre 16., Cable para control.

Preparación

Diseño del Equipo

Se realizó el diseño de equipo electromecánico a través del software SolidWorks de tal manera que sea práctico e ideal para realizar prácticas y comprobar a través del software y de manera visual el Número de Reynolds, se distribuyen los siguientes componentes: bomba, contenedor, tubería, filtro, base para PC o Lap-top, ver figura 1.1 (acotamiento expresado en centímetros).

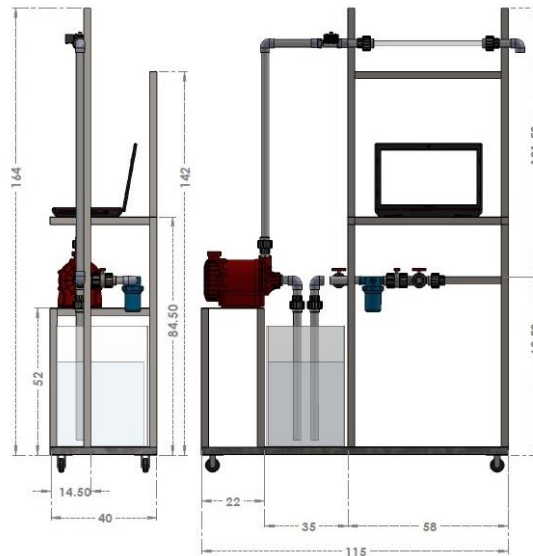


Figura 1.1 Diseño del equipo Vista Lateral y frontal del equipo.

Desarrollo

Desarrollo de la manufactura de la estructura

Para la estructura del equipo se utilizó PTR Perfil Tubular Rectangular, es una barra rectangular hueca, con propiedades físicas duraderas con dimensiones de una pulgada utilizando tres tramos de 6 metros, según lo marca la norma A513 [5]

La lámina galvanizada es una lámina de acero que ha sido sometido a un proceso de inmersión en caliente que recubre la lámina con 100% de zinc, con la finalidad de prevenir la corrosión, considerando las características de la lámina calibre 16 con un espesor de 1.557 mm con un peso de 12.21 Kg/m², con un área 1.5m². Además de que se utilizaron 2 ruedas fijas, 2 Ruedas locas, 4 abrazaderas para $\frac{1}{2}$ ".

Se fabricó la estructura de acuerdo con las medidas del diseño (ver figura 1.1), esto se realizó en un taller de herrería utilizando el método de unión por soldadura eléctrica, durante el proceso se utilizó EPP y medidas de seguridad correspondientes, ver figura 1.2 [6]



Figura 1.2 Proceso de manufactura de la estructura metálica

Manufactura e instalación del circuito hidráulico

Se realizó el ensamble de tubería PVC y accesorios para el desarrollo del proyecto, el proceso se realizó con cemento para PVC en componentes para cementar y cinta teflón en componentes roscados para evitar fugas de agua. También se procedió a realizar una adaptación para poder suministrar tinta vegetal líquida en la tubería de acrílico, a través de una aguja.



Figura 1.3 Montaje de tubería PVC.

También se procedió a realizar el ensamble del sistema para la limpieza del agua a través de filtración y sistema de monitoreo de la presión del circuito a través de un manómetro. Ver figuras 1.4 y 1.5



Figura 1.4 Montaje de filtro. Figura 1.5 Contenedor de acrílico.

Se realizaron varias pruebas con diferentes componentes en el sistema ya instalado con la finalidad de obtener los resultados requeridos por el proyecto.

Manufactura e instalación del equipo eléctrico - electrónico

Se manufacturó una placa electrónica Dimmer para el control de velocidad de la bomba, esta placa el regula el voltaje a través del potenciómetro, al cual se le adaptó un servomotor controlado por la tarjeta Arduino para poder ser accionado a través de un software y obtener una repetitividad precisa en la regulación de velocidad y por ende en los resultados obtenidos en el software. La placa Dimmer se montó sobre una base de acrílico y se adaptó la perilla del potenciómetro a la cremallera del servomotor.

Encapsulado del sensor Im 35

Se realizó un encapsulado de los pines del sensor para poder sumergirlo dentro del agua y así monitorear la temperatura a través de la tarjeta Arduino, el proceso se realizó de la siguiente manera: se soldaron los cables con pines del sensor con cautín y estaño, se colocó silicón en uniones (pines) encapsulándolo y se colocó thermofit sobre el área de sueldado y encapsulado.

Montaje de sensor de flujo FS300a

Para montar el sensor de flujo a la tubería PVC de 1/2" se utilizaron reducciones bushing de 3/4" a 1/2" roscados, la función del sensor será registrar el flujo y velocidad del líquido a través de la tarjeta Arduino, se coloca sensor de flujo antes de la tubería de acrílico.

Montaje de bomba periférica 1/2 HP

Para el montaje de la bomba se realizaron 4 barrenos en la placa base, posteriormente se sujetaron con 4 tornillos cabeza de gota 3/16" x 1.5" de largo y sus respectivas tuercas.

Manufactura de gabinete de control.

Se diseñó diagrama eléctrico de control y potencia a través del software ProfiDAC, posteriormente se realizaron las conexiones físicas de potencia y control de los receptores y actuadores del equipo, se utilizó cable de control, cable calibre 14, y cable uso rudo 3x14.

Diagrama eléctrico de control

El microcontrolador Arduino [7] será el encargado de recibir y procesar la información obtenida del sensor de flujo FS300a y el sensor de temperatura LM35, al mismo tiempo controlará la posición del servomotor SG90 el cual será el encargado de mover un potenciómetro para la velocidad de la bomba.

Para realizar las conexiones se necesitaron de los siguientes elementos: servomotor SG90; alimentación 5vcd, conexión directamente de la placa Arduino, señal de pulsos digitales, pin 9 PWM. sensor de flujo FS300a; alimentación 5vcd, conexión directamente de la placa Arduino, Señal digital, pin 2 PWM. Sensor de temperatura LM35; Alimentación 5vcd, conexión directamente de la placa Arduino, señal analógica, pin 2 Analógicos. Ver figura 1.6

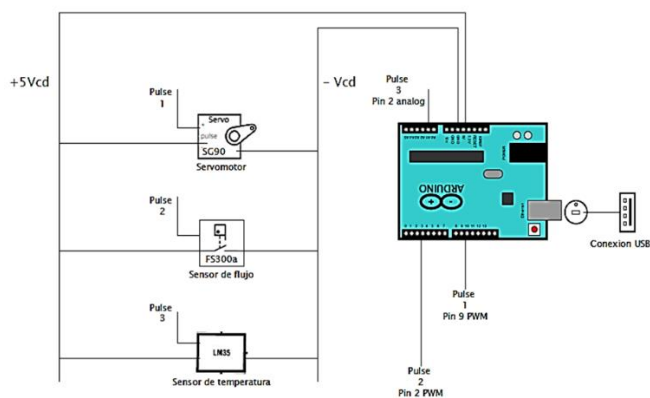


Figura 1.6. Diagrama eléctrico de control

Diagrama eléctrico de potencia

El equipo será alimentado a la red eléctrica de 127VCA, para protección del operador y del equipo se empleará un termo magnético de 10 amperes, a la salida del termo magnético se conectará en paralelo un led piloto color verde para indicar cuando el equipo se encuentre energizado, también a la salida del termo magnético se conectará en serie un selector de 2 posiciones (NO y NC) la terminal NO ira conectado en serie hacia el Dimmer donde se regulará el paso de voltaje y posteriormente de la misma manera en conexión serie ira hacia la bomba (al mismo tiempo se conectara en paralelo un led piloto color verde para indicar cuando la bomba se encuentre en modo "ON"), en la terminal NC ira conectado hacia un led piloto color rojo para indicar de la bomba se encuentra en modo "OFF". Ver figura 1.7

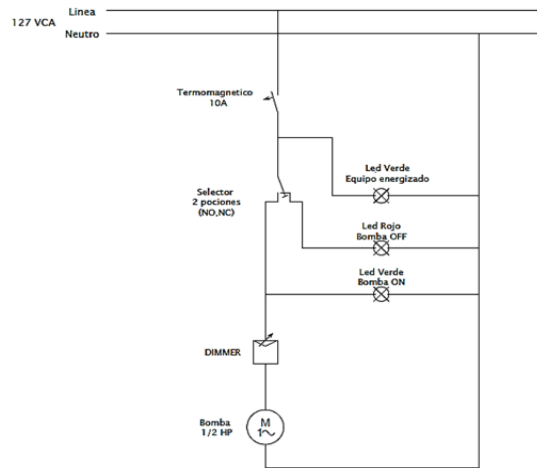


Figura 1.7. Diagrama eléctrico de potencia

Conexiones físicas del esquema didáctico

En el esquema didáctico se muestran las conexiones físicas de los sensores y actuadores tal cual se encuentran en el equipo (colores de cables, posición y orden de клемas de conexiones, etc., ver figura 1.8

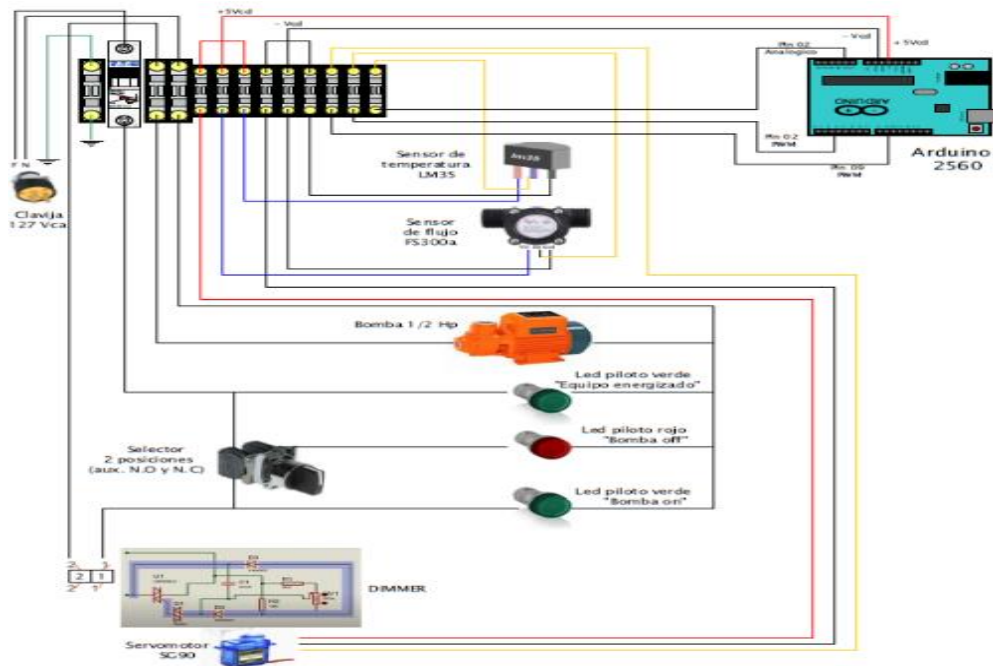


Figura 1.8 Esquema didáctico que muestra la conexión del cableado.

Resultados y discusión

Ensamble del equipo didáctico para determinar el número de Reynolds.

Se fijó un riel Din sobre placa para poder montar el termo magnético y clemas de conexión para las conexiones eléctricas y electrónicas, también se realizó la fijación de la placa Arduino, Dimmer y conexiones eléctricas a servomotor de acuerdo a diagramas eléctricos.

Se montó la placa dentro del gabinete de control y se realizaron conexiones de alimentación principal utilizando cable de uso rudo 3x16 con su respectiva clavija para 110Vca, también se realizó conexión a luces piloto, selector, sensor de flujo, sensor de temperatura y a bomba de acuerdo a diagramas eléctricos Ver figura 1.9



Figura 1.9 Equipo ensamblado

Primer Prueba: Pruebas de funcionamiento del equipo

Una vez ensamblado la parte electromecánica se realizó la integración con el software del proyecto en conjunto "Interfaz gráfica para un sistema didáctico para el análisis del régimen laminar y turbulento en un fluido líquido" y así mismo se realizar las pruebas para comprobar los resultados deseados.

Operación del equipo

- El equipo deberá alimentarse de energía eléctrica, a través de su clavija conectándolo a la red eléctrica de 110Vca, por medio del piloto indicador luz verde, se podrá comprobar que el equipo se encuentra energizado.
- El equipo contará con una bomba indicando de apagado con el nombre de; "Bomba OFF" y de encendido con el nombre de; "Bomba ON", se comprobará su funcionamiento con las luces piloto, luz roja y luz verde respectivamente.
- Conectar el cable de la tarjeta Arduino a uno de los puertos de la PC e iniciar procedimiento de comunicación con los softwares como indica el proyecto.
- Colocar válvulas en posición de trabajo: Válvula 1 en posición abierto, Válvulas 2 y 3 en posición cerradas.
- Después de iniciar las aplicaciones del equipo mediante el software, se deberá activar el selector de operación de la bomba del estado "Bomba OFF" a "Bomba ON", para iniciar su funcionamiento del equipo.
- Se comprueba la recopilación de datos a través de los sensores y actuadores y se obtienen los resultados generados por medio del software.
- Para poder visualizar de forma física el comportamiento del fluido, se inyectará con una jeringa la tinta vegetal al circuito hidráulico.

- Después de obtener los resultados se deberá activar nuevamente el selector de operación de la “Bomba ON” para regresar a su estado de apagado “Bomba OFF”.
- Cerrar aplicaciones y softwares, desconectar el cable del Arduino y la PC y desconectar la alimentación principal del equipo.

Datos en tiempo real (N) en el funcionamiento del equipo

Se elaboró una base de datos a considerar para integrar los sistemas del equipo con los resultados a obtener del Número de Reynolds. Este es sin duda el formulario que muestra más información y en donde se pueden observar los resultados de la práctica para observar la operación del sistema con la programación donde se puede considerar las Características del fluido en donde se selecciona el tipo de fluido agua, aceite, o un producto industrial como es el chocolate, una vez seleccionado el fluido también se deberá seleccionar la tubería y así aparecerán en automático las demás características, como la temperatura, el flujo y la velocidad, además que se puede tener un indicativo del estado de la bomba, si está encendida, en bypass o en su máxima potencia, considerando que no puede ser puesta por debajo del 57% de la misma..

En las Características Moody es el apartado donde se verán los resultados de la práctica desarrollada, es decir, se tiene el coeficiente de fricción, el número de Reynolds y la rugosidad relativa mediante una gráfica basada en el diagrama de Moody (Factor de fricción (f) contra número de Reynolds (Re)) donde se puede ver el punto exacto en vivo del régimen del fluido, esta grafica es dinámica e intuitiva. Ver figura 1.10

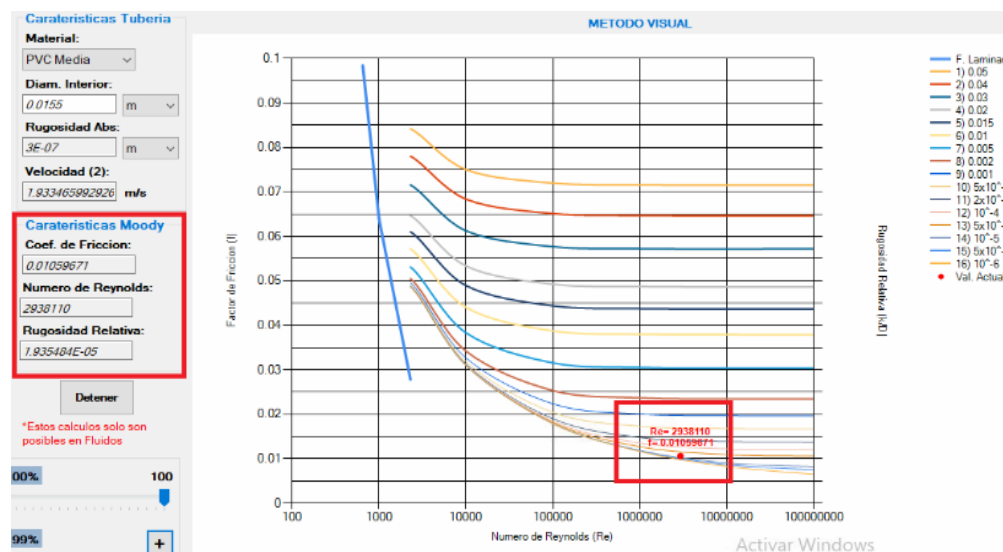


Figura 1.10. Resultados de la integración.

Segunda prueba:

Proceso para visualizar el flujo dentro de la tubería de acrílico

Se instaló en la tubería un tramo de acrílico con la finalidad de observar el comportamiento del fluido, por lo que se procedió a aplicar de forma manual utilizando tinta vegetal. Cada presentación de tinta contiene 35ml, al suministrar esa cantidad de tinta a los 35 litros de agua que tiene el contenedor, queda completamente de color tornasol del color de la tinta, por lo tanto, es necesario realizar un proceso de decoloración al agua para poder realizar más pruebas suministrando más tinta y el flujo pueda ser apreciado de manera visible.

Proceso para decoloración de la mezcla

Para poder determinar la cantidad del decolorante a suministrar en el fluido y obtener una decoloración efectiva, se realizaron pruebas de acuerdo a la cantidad de agua y tinta vegetal mezclada, esto de acuerdo a los siguientes datos: el circuito hidráulico tendrá 35 litros de agua el cual recirculará (35000ml). La cantidad de tinta vegetal suministrada será de 35ml como máximo (presentación comercial) y después de dicha cantidad se tiene que

realizar el proceso de decoloración. Para poder realizar este proceso de decoloración se seleccionó hipoclorito de sodio al 5% de nombre comercial Clarasol, ver figura 1.11



Figura 1.11. Inyección de tinta al sistema del fluido

La sustancia química a utilizar es el NaClO llamado hipoclorito de sodio este compuesto contiene cloro en estado de oxidación +1, es un oxidante fuerte y económico, debido a esta característica se utiliza como desinfectante y blanqueador y además es ideal para eliminar los colorantes. [7]

Una vez que se opera el sistema en donde se utiliza el colorante se procede a realizar la decoloración para volverlo utilizar, por lo que se procede a decolorar el agua mediante el suministro del hipoclorito de sodio con 40 ml es suficiente decolorar el color para hacer funcionar nuevamente el sistema. Se realizar varias pruebas experimentales con la finalidad de identificar cuantas veces se puede reutilizar el fluido en operación como es el agua y poderla decolorar, esto se realiza con la finalidad de reducir el gasto del agua en las prácticas y contribuir al medio ambiente. Se pudo apreciar que solo se pueden aplicar cinco procesos de decoloración, durante cada aplicación se realizaron cálculos aplicando la fórmula de densidad y los valores respectivos, los cuales se pueden apreciar en la tabla 1.1, y se comprueba una mínima diferencia con respecto a la densidad de cada proceso sin afectación considerable para el cálculo del Número de Reynolds que se realizará de manera automática.

Tabla 1.1. Cálculo de las densidades de mezclas a diferentes concentraciones del NaClO

N° de Procedimiento (Decoloración).	Litros de mezcla (inicial).	Litros de tinta vegetal.	Mezcla inicial + tinta.	Litros de Hipoclorito de Sodio.	Litros de mezcla (total).	Densidad de mezcla.	% de NaClO en mezcla.
1	35	0.035	35.035	0.040	35.075	1.000114g/ml	0.114 %
2	35.075	0.035	35.110	0.040	35.150	1.000227g/ml	0.228 %
3	35.150	0.035	35.185	0.040	35.225	1.000340g/ml	0.342 %
4	35.225	0.035	35.260	0.040	35.300	1.000452g/ml	0.456 %
5	35.300	0.035	36.335	0.040	35.375	1.000564g/ml	0.570 %

Con las pruebas realizadas se obtuvieron los siguientes datos:

- Se realizaron 5 procesos de decoloración agregando 4 mililitros de NaClO en cada proceso, empezando con 3.5 litros de agua, 0.035 litros de tinta, pruebas al 10% de cantidades reales: (35 litros de agua, 0.035 litros de tinta (35mililitros) y 0.04 litros de NaClO (40 mililitros).
- Se consideró en cada proceso la suma de tinta y NaClO agregada en cada decoloración, como se muestra en tabla 4.
- En cada proceso de decoloración se obtuvo una mezcla cristalina (clara) utilizando la misma cantidad de NaClO.
- Se podría reutilizar el agua, realizando el proceso de decoloración n veces utilizando la misma cantidad de NaClO en cada proceso.
- Se recomienda solo utilizar 5 procesos de decoloración ya que después de esto, el olor del NaClO es muy perceptible.

Trabajo a futuro

Este proyecto a futuro se le puede variar la velocidad aplicando bombas con desplazamiento para su uso para aplicar fluidos muy densos, también sería bueno suministrar calor al fluido para experimentar también el comportamiento del fluido a diferentes temperaturas.

Conclusiones

Se logró diseñar, desarrollar e integrar el equipo para determinar el régimen de un fluido de manera automática a través de la recopilación de datos obtenidos del circuito hidráulico y el cálculo realizado por el software, y a la par comprobarlo de manera visual, y mediante la información almacenada donde se puede apreciar el comportamiento del fluido en los tipos de laminar, de transición y turbulento, dando la oportunidad al estudiante u operador de variar los parámetros en la interfaz y conocer su manejo de operación del equipo incluyendo códigos del proyecto, las conexiones eléctricas, electrónicas e hidráulicas y especialmente manipular y observar el comportamiento de un fluido que se desplaza a través de una tubería, factor importante en la formación de estudiante, poder aplicar y relacionar los conocimientos en el sector empresarial y además pueda realizar investigaciones con el comportamiento de los fluidos.

Referencias

- [1] A. C. Flores, «Número de Reynolds, para que sirve y como se calcula,» 30 Abril 2019. [En línea]. [Último acceso: 2 Julio 2022].
- [2] J. A. M. Moreno, «Tesis "Diseño de una red ruronal para la predicción de valores del Diagrama de Moody",» 16 Febrero 2017. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/19230/1/Moreno%20Moreno%2C%20Jos%C3%A9%20Andr%C3%A9s.pdf. [Último acceso: 1 Julio 2022].
- [3] G. K. Schlichting Herrmann, «Teoría de la capa límite,» *Engineering*, vol. 9, nº ISBN: 978-3-540-66270-9, p. 9, 2000.
- [4] G. Cordoba, La investigación tecnológica, España: Limusa, 2007.
- [5] L. Gelson, «ASTM A513 Propiedades,» 27 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.materiales.gelsonluz.com/2020/09/astm-a513-propiedades-mecanicas.html>. [Último acceso: 2 Julio 2022].
- [6] «Valvulas y Termoplásticos Industriales S.A. de C.V.,» 19 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.tuberiadepvc.com.mx/Tuberia-Hidraulica-de-PVC-Cedula-40.html>.
- [7] A. CC, «Arduino Mega 2560,» 2021. [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>. [Último acceso: 2 Julio 2022].
- [8] QuimiNet, «Usos y aplicaciones del hipoclorito de sodio,» 25 Julio 2011. [En línea]. Available: <https://www.quiminet.com/articulos/usos-y-aplicaciones-del-hipoclorito-de-sodio-2555821.htm>. [Último acceso: 22 Julio 2].
- [9] N. ApellidoA1 y N. ApellidoA2, Título Primera obra, ciudadA: EditorialA, 2019.
- [10] N. ApellidoB1 y N. ApellidoB2, «Artículo B,» *Revista MNBVC*, vol. 1, nº XX, pp. 34-43, 20221.
- [11] M. R. number, «Número de Reynolds,» 26 Mayo 2022. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_de_Reynolds#CITAREFCroweElgerWilliamsRoberson2009. [Último acceso: 1 Junio 2022].

Almacenamiento de carbono en suelos de un bosque urbano de la Ciudad de México

Espinosa-Fuentes M. L.¹, Tun- Caamal E.², Cerón-Bretón R. M.³ Uc-Chi M. P.⁴, Robles-Heredia J. C.⁵

¹ Instituto de Ciencias de Atmósfera y Cambio Climático, UNAM marilu@atmosfera.unam.mx, ² Universidad Autónoma del Carmen, Adrian280591@gmail.com, ³ Universidad Autónoma del Carmen, rceron@pampano.unacar.mx, ⁴ Universidad Autónoma del Carmen, marthaucchi@gmail.com, ⁵ Universidad Autónoma del Carmen, jrobles@pampano.unacar.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Se determinó la capacidad de almacenamiento de carbono y las características fisicoquímicas del suelo en el Área Natural Protegida Bosque de Tlalpan, considerando 4 sitios con diferente uso de suelo y condiciones de perturbación. El muestreo fue realizado durante dos temporadas climáticas: lluvias y seca-fría, a dos profundidades de muestreo (superficie y 30 cm). Se determinaron los principales atributos del suelo: humedad (%), pH, conductividad (dS cm^{-1}), materia orgánica (%), carbono orgánico (%), y almacenamiento de carbono (Mg C ha^{-1}). Los resultados indican que el grado de conservación jugó un papel importante en la capacidad de almacenamiento de carbono y en las características fisicoquímicas del suelo, lo que permitió conocer no sólo el estado actual de un bosque urbano coexistiendo con una gran urbe sino también destacar la importancia de la conservación de este tipo de ecosistemas.

Palabras clave: Almacenamiento de carbono, bosques urbanos, suelo, ciclo del carbono.

Abstract

Carbon storage capacity was determined in the Protected Natural Area Tlalpan Forest, considering 4 sites with different land use and disturbance conditions. Sampling was carried out during two climatic seasons: rainy and dry-cold, at two sampling depths (surface and 30 cm). The main soil attributes were determined: moisture (%), pH, conductivity (dS cm^{-1}), organic matter (%), organic carbon (%), and carbon storage (Mg C ha^{-1}). The results indicate that the degree of conservation played an important role in the carbon storage capacity and in the physicochemical characteristics of the soil, which allowed us to know not only the current state of an urban forest coexisting with a large urban area, but also to highlight the importance of the conservation of this type of ecosystems.

Key words: Carbon storage, urban forests, soil, carbon cycle.

Introducción

Suele considerarse que el cambio climático sólo tiene que ver con lo que ocurre en la atmósfera, no obstante, por acción de la fotosíntesis que utiliza el carbono atmosférico, una proporción de dicho carbono llega al suelo y se puede estabilizar por periodos tan amplios como miles de años; por lo tanto, los suelos en mayor o menor proporción pueden coadyuvar a los esfuerzos tendientes a disminuir el cambio climático puesto que, además de prestar otros servicios ecosistémicos claves para todas las expresiones de vida en el planeta, desempeñan un rol estratégico e insustituible en el ciclo del carbono en la Tierra [1]. La conservación de los bosques y el establecimiento de sistemas agroforestales en conjunto, remueven carbono atmosférico, lo fijan y lo almacenan por un cierto periodo de tiempo, de este modo, se contribuye a un almacenamiento mucho más prolongado del carbono, que es el que se fija o incorpora a la materia orgánica del suelo [2]. El bosque urbano provee diversos servicios ecosistémicos, entre los que destacan, la remoción de contaminantes atmosféricos, la fijación de carbono, regulación y modificación del microclima, captación de agua de lluvia y control de escorrentías [3]. Los bosques urbanos conforman depósitos abundantes de carbono y contribuyen al proceso de mitigación, ya que capturan CO_2 y lo fijan como biomasa. En México, hay pocos estudios sobre los reservorios y la captura de carbono en las áreas verdes urbanas, además no se ha cuantificado su distribución dentro de las acciones de mitigación de las ciudades [4-6]. La investigación y divulgación acerca del ciclo del carbono en los últimos tiempos, se ha venido insertando en el ámbito del deterioro ambiental, donde el suelo resulta clave por su papel dual en el

secuestro de carbono a corto y largo plazo y en la emisión en forma de CO₂ a la atmósfera. Por lo anterior, resulta de vital importancia cuantificar el carbono secuestrado en bosques urbanos localizados en grandes urbes como la Ciudad de México. El presente trabajo tiene por objetivo caracterizar fisicoquímicamente el suelo de un bosque urbano localizado en la Delegación de Tlalpan en la Ciudad de México, así como cuantificar el almacenamiento de carbono en diferentes condiciones de suelo.

Metodología

Descripción del área de estudio

El presente estudio se realizó en el Área Natural Protegida Bosque de Tlalpan, que tiene una extensión de 252.86 hectáreas, se localiza en la Delegación Tlalpan que está ubicada en la porción sur de la Ciudad de México. El tipo de clima es templado húmedo intermedio con lluvias en verano. Actualmente el territorio que comprende el Bosque de Tlalpan (BT) se encuentra cubierto por tres tipos principales de vegetación de acuerdo con su fisonomía, composición florística y origen: matorral xerófito, bosque de encino y bosque cultivado. El área de estudio se conforma de cuatro sitios seleccionados de acuerdo con la zonificación propuesta en el Plan de Manejo del BT: El sitio 1 (Zona de Uso Público ó sitio de Uso Intensivo), es un área para la realización de actividades de recreación y esparcimiento, la cubierta vegetal está formada principalmente por elementos arbóreos introducidos, que han formado una comunidad que mantiene condiciones estables, dando lugar a lo que en el mapa de vegetación aparece clasificado como “Bosque Cultivado” y en donde hay presencia notable de fauna silvestre. El sitio 2 (Zona de Uso Extensivo), zona de pastos y árboles medianos. Es una zona de acceso limitado y su vegetación está integrada tanto por elementos del bosque de encino como del bosque cultivado, en proporciones variables, así como por especies del matorral xerófito. El sitio 3 es una de las partes más altas del bosque (Zona de Reforestada ó Valle de los Encinos), es un área pequeña en donde de acuerdo con la historia del bosque, los suelos han sido severamente dañados, se caracteriza por tener arboles de Encino de aprox. 4 m de alto y vegetación secundaria. Finalmente, el sitio 4 se encuentra dentro de la zona más alejada (Zona de Protección Estricta ó Sitio Protegido), que corresponde a la superficie del BT con menor alteración por efecto de la actividad humana, esta zona se encuentra cubierta principalmente por matorral y bosque de encino. La ubicación de los sitios de muestreo se presenta en la Figura 1.

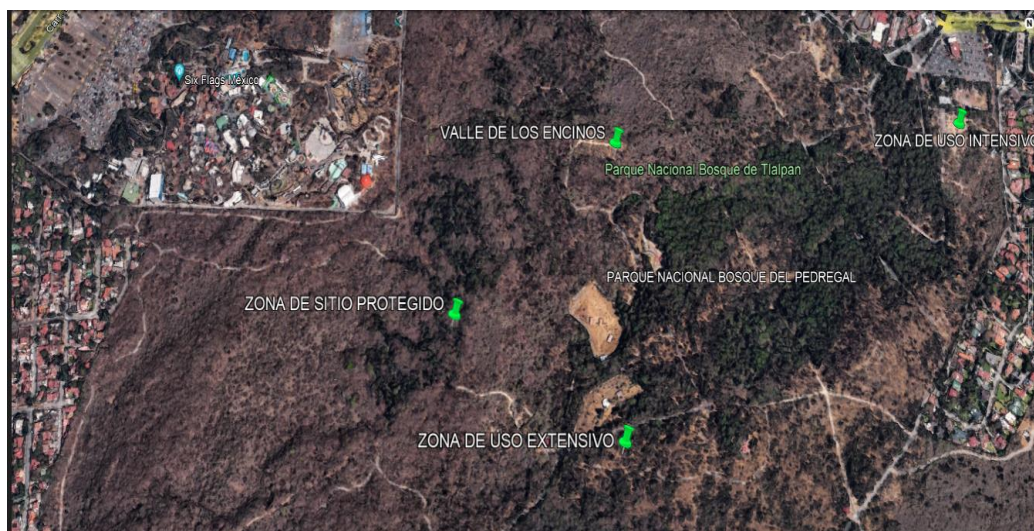


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo.

Muestreo

El muestreo se realizó durante la temporada de lluvias del 23 al 27 de agosto de 2021 y la temporada seca fría del 24 al 28 de enero de 2022. Se establecieron transectos en un área representativa del bosque en cada uno de los sitios de muestreo. Tres parcelas de muestreo de 4m x 12m en cada sitio fueron seleccionadas, considerando el libre o fácil acceso a la zona, la estructura de la vegetación y su distribución, así como el uso de suelo y su grado de perturbación. Tres puntos de muestreo de 1 m² en cada sitio fueron seleccionados para obtener una muestra compuesta a nivel superficie y 30 cm de profundidad (sólo en los sitios Protegido y de Uso Extensivo). Las muestras fueron tomadas por duplicado.

Análisis

Las muestras se secaron a temperatura ambiente para evitar cambios químicos, se molieron y tamizaron a través de una malla de 2 mm, eliminando partículas de grava, rocas, raíces y otras impurezas logrando una mejor pureza y uniformidad de las muestras. Posteriormente, fueron etiquetadas para su identificación y se almacenaron en bolsas de plástico selladas adecuadamente para evitar la pérdida de humedad. Una vez en el laboratorio, se determinaron los principales parámetros fisicoquímicos del suelo: humedad (%), pH, conductividad (dS cm^{-1}), materia orgánica (%), carbono orgánico (%) de acuerdo con las técnicas descritas en la NOM-021-RECNAT-2000. La tasa de captura de carbono (Mg C ha^{-1}) fue estimada de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Mg C ha}^{-1} = [(\text{densidad aparente del suelo (g}\cdot\text{cm}^{-3}) \times \text{intervalo de profundidad del suelo (cm)} \times \text{CO \%}]$$

Resultados y discusión

Variabilidad estacional de la humedad

La variabilidad estacional de la humedad (%) presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la temporada de lluvias y la temporada seca-fría. Los niveles más altos de humedad (%) se observaron en la temporada de lluvias, el sitio Protegido presentó un valor promedio de $45.2\% \pm 13.2$, el sitio de Uso Intensivo de $36.3\% \pm 12.8$, el sitio de Uso Extensivo de $35\% \pm 12.7$ y el sitio Valle de los Encinos de $33.9\% \pm 8.6$. En las Figuras 2a-2d, se puede observar la variabilidad estacional del parámetro de humedad (%) tanto a nivel superficie como a 30 cm de profundidad para los 4 sitios de muestreo.

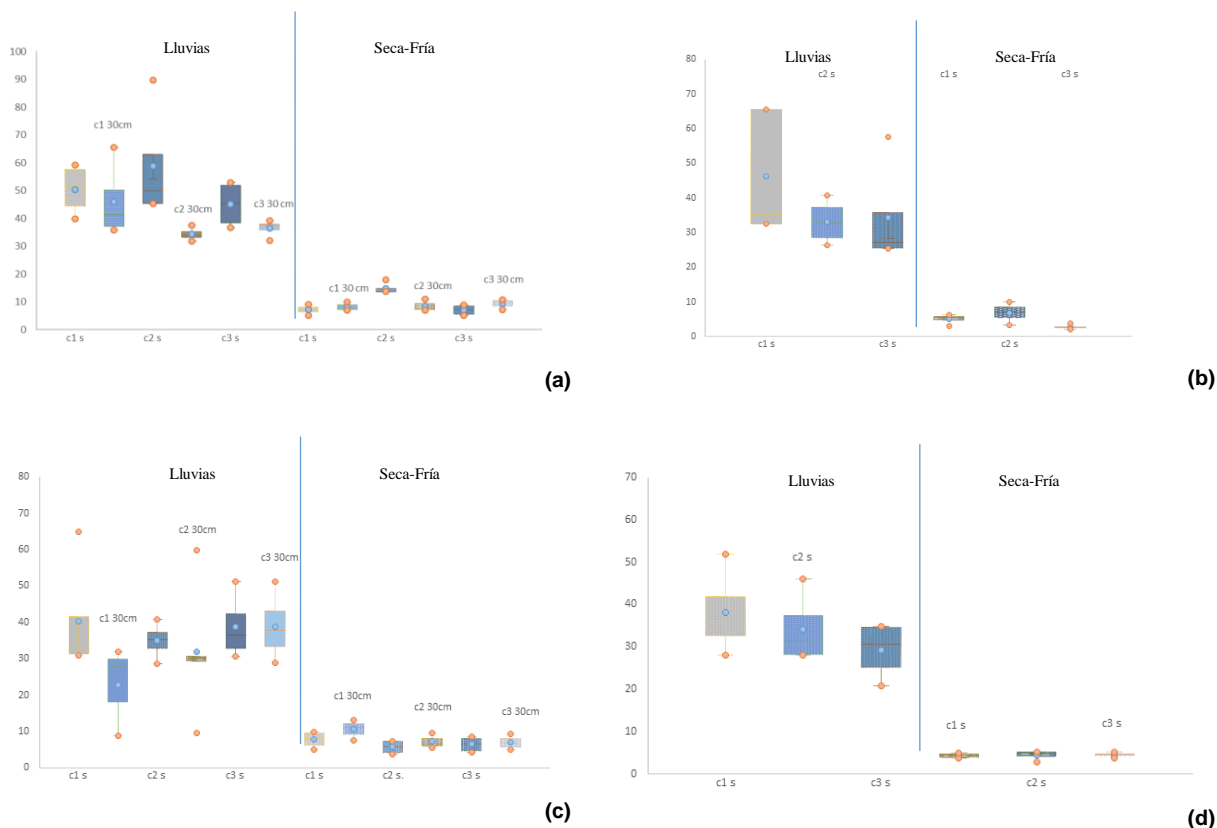


Figura 2. Variabilidad estacional (lluvias y seca fría) del parámetro de humedad (%) a nivel superficie y a 30 cm de profundidad para los sitios Protegido (a), de Uso Intensivo (b), de Uso Extensivo (c), y Valle de los Encinos (d).

Variabilidad estacional del pH

La variabilidad estacional del pH no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre la temporada de lluvias y la temporada seca-fría. Los valores promedio más altos de pH se observaron en la temporada lluviosa, el sitio Protegido presentó un valor promedio de 6.3 ± 0.4 , el sitio de Uso Intensivo de 6.7 ± 0.5 , el sitio de Uso Extensivo de 6.8 ± 0.3 y el sitio Valle de los Encinos de 6.5 ± 0.2 .

Durante la temporada de lluvias, tanto los valores promedio como los valores máximos de pH fueron más elevados en los sitios de Uso Extensivo y de Uso intensivo, en comparación con el sitio Protegido y de Valle de los Encinos. Por otro lado, durante la temporada seca-fría, los valores máximos de pH fueron más altos en los sitios Protegido y de Uso Extensivo, en comparación con el sitio de Uso Intensivo y el del Valle de los Encinos. En ambas temporadas, los valores promedio de pH para los 4 sitios de muestreo se clasificaron entre moderadamente ácidos y neutros [7]. En las Figuras 3a-3d, se puede observar la variabilidad estacional del parámetro de pH tanto a nivel superficie como a 30 cm de profundidad para los 4 sitios de muestreo, así como que los valores más altos se ubicaron a 30 cm de profundidad.

Los valores de pH en suelo observados en ambas temporadas son considerados como óptimos en áreas forestales para el crecimiento de árboles al disponer de una reserva apropiada de macro y micronutrientes [8].

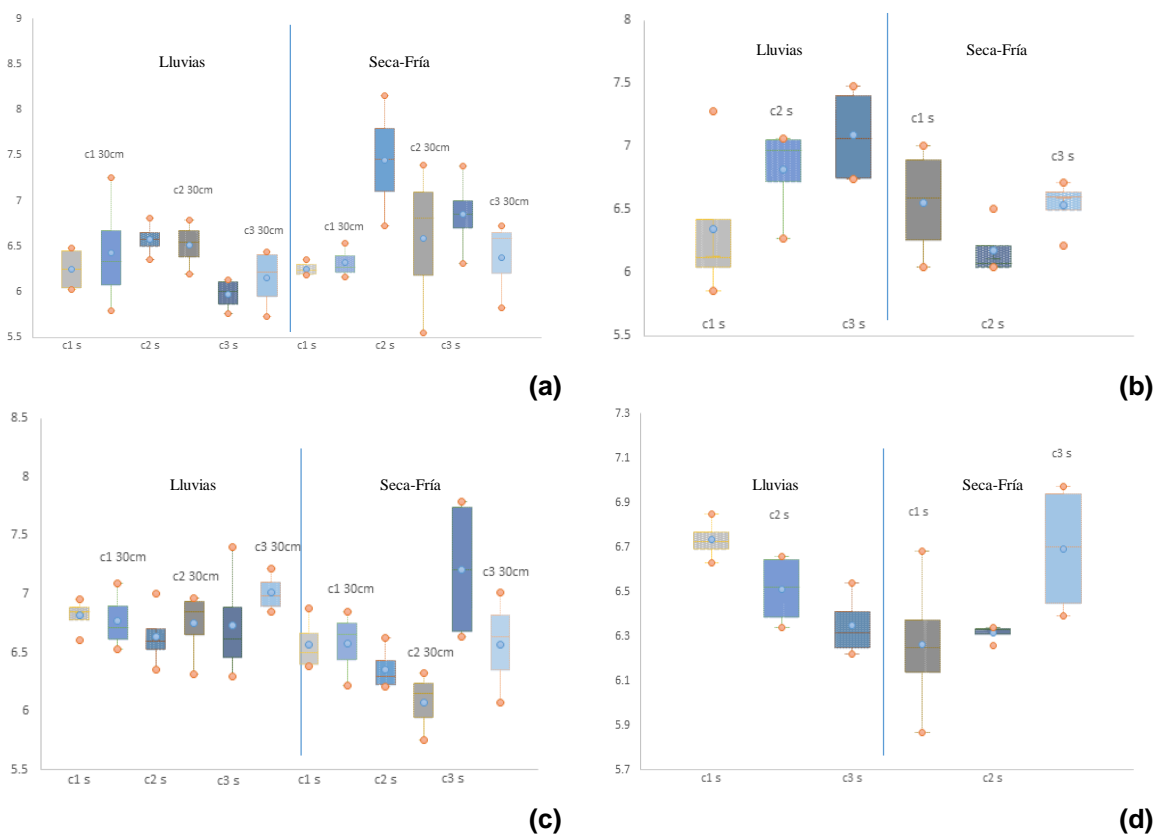


Figura 3. Variabilidad estacional (lluvias y seca fría) del parámetro de pH a nivel superficie y a 30 cm de profundidad para los sitios Protegido (a), de Uso Intensivo (b), de Uso Extensivo (c), y Valle de los Encinos (d).

Variabilidad estacional de la conductividad eléctrica

La variabilidad estacional de la conductividad eléctrica presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la temporada de lluvias y la temporada seca-fría. Los valores promedio más altos de conductividad eléctrica se observaron en la temporada lluviosa, el sitio Protegido presentó un valor promedio de 0.16 ± 0.04 dS cm^{-1} , el sitio

de Uso Intensivo de $0.12 \pm 0.03 \text{ dS cm}^{-1}$, el sitio de Uso Extensivo de $0.15 \pm 0.05 \text{ dS cm}^{-1}$ y el sitio Valle de los Encinos de $0.17 \pm 0.05 \text{ dS cm}^{-1}$.

El valor de conductividad eléctrica durante la temporada de lluvias fue más alto en el sitio Valle de los Encinos ($0.12\text{-}0.32 \text{ dS cm}^{-1}$) y más bajo en el sitio de Uso Intensivo ($0.09\text{-}0.17 \text{ dS cm}^{-1}$); por otro lado, durante la estación seca-fría, el valor promedio de conductividad eléctrica fue más alto en el sitio Protegido ($0.05\text{-}0.25 \text{ dS cm}^{-1}$) y más bajo en el sitio Valle de los Encinos ($0.05\text{-}0.07 \text{ dS cm}^{-1}$). Durante las dos temporadas, la salinidad de los suelos se clasificó como baja [7]. En las Figuras 4a-4d, se puede observar la variabilidad estacional del parámetro de conductividad eléctrica tanto a nivel superficie como a 30 cm de profundidad para los 4 sitios de muestreo. Los valores de la conductividad eléctrica fueron más altos a nivel superficial.

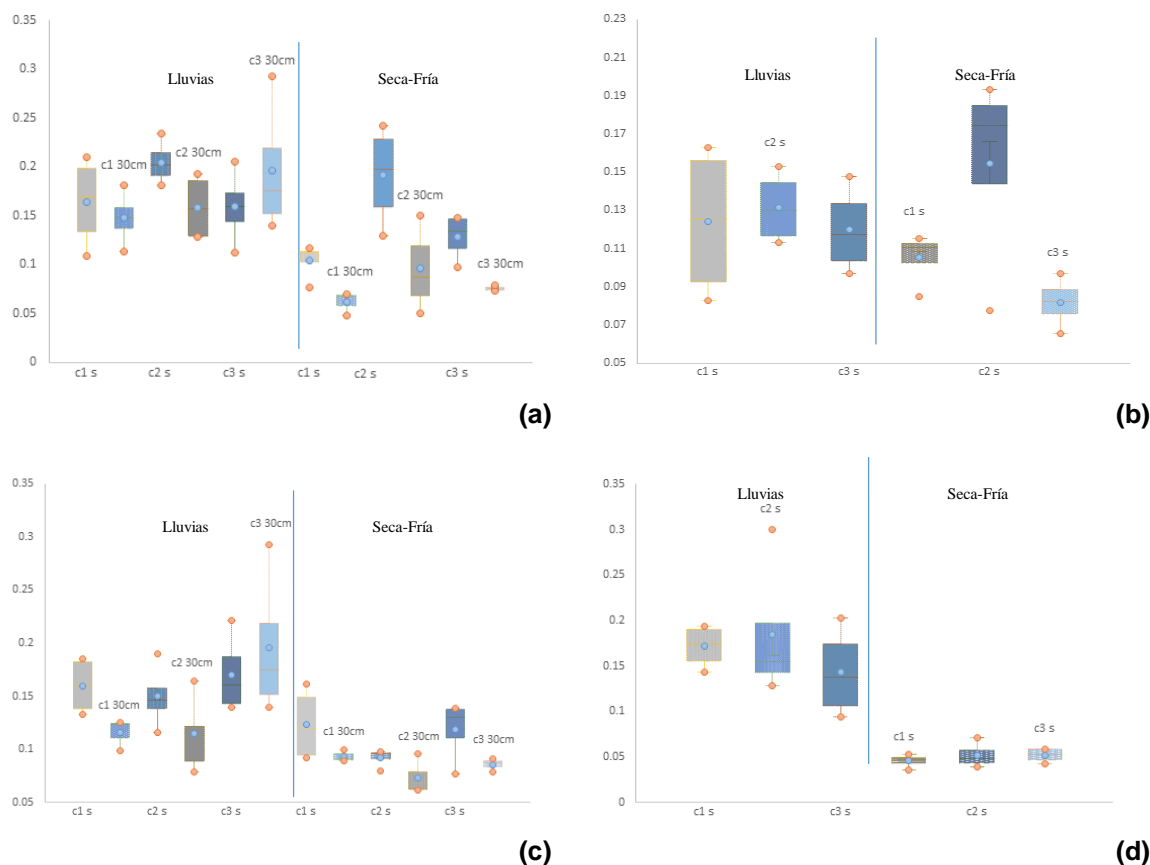


Figura 4. Variabilidad estacional (lluvias y seca fría) del parámetro de conductividad eléctrica (dS cm^{-1}) tanto a nivel superficial como a 30 cm de profundidad para los sitios Protegido (a), de Uso Intensivo (b), de Uso Extensivo (c), y Valle de los Encinos (d).

Variabilidad estacional de la materia orgánica

La variabilidad estacional de la materia orgánica % no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre la temporada de lluvias y la temporada seca-fría. Los valores promedio más altos de materia orgánica % se observaron en la temporada seca-fría, el sitio Protegido presentó un valor promedio de $0.94 \pm 0.41 \%$, el sitio de Uso Intensivo de $0.93 \pm 1.1\%$, el sitio de Uso Extensivo de $0.74 \pm 0.24\%$ y el sitio Valle de los Encinos de $0.50 \pm 0.13\%$.

En las Figuras 5a-5d, se puede observar la variabilidad estacional del parámetro de materia orgánica % en ambas temporadas de muestreo. Durante la temporada de lluvias, los porcentajes promedio de materia orgánica fluctuaron entre 0.38 y 2.37%, el valor más alto se observó en el sitio Protegido y el más bajo en el Valle de los

Encinos (Figuras 5a y 5d). El contenido de materia orgánica en ambas temporadas puede considerarse como muy bajo [7].

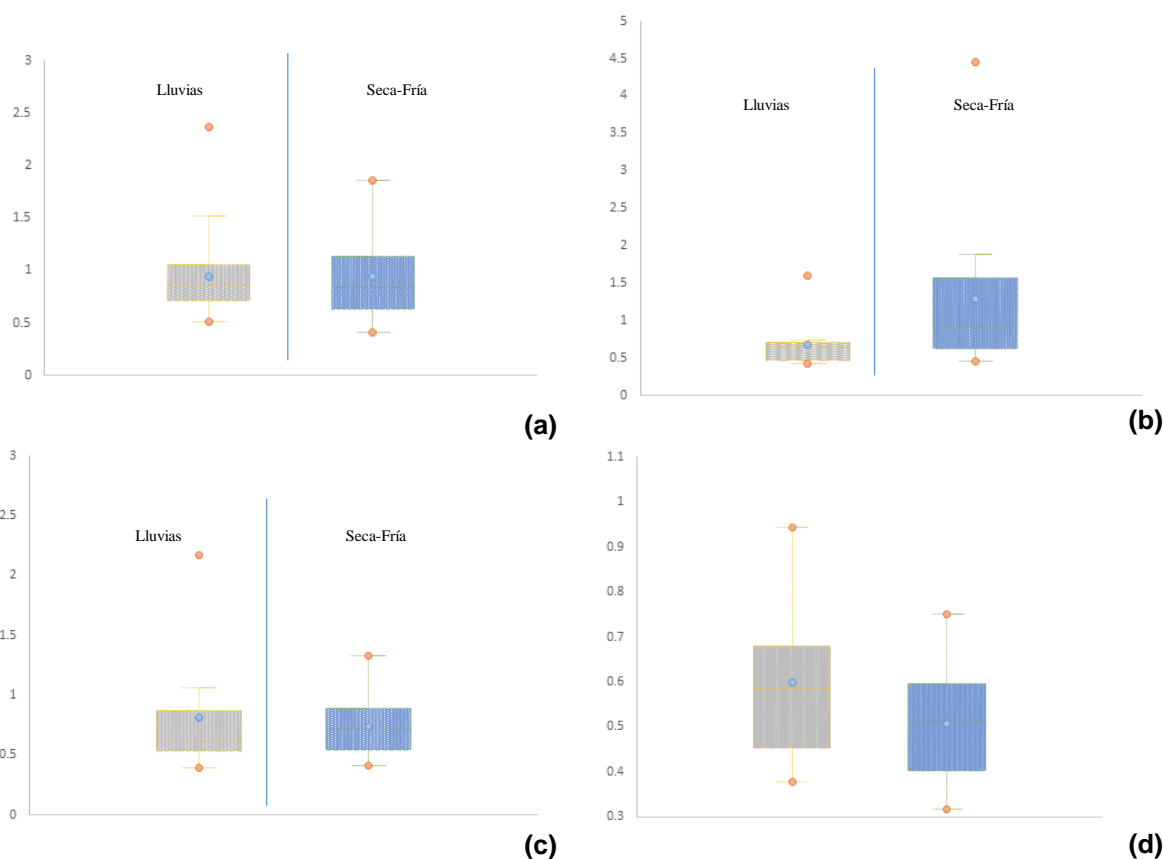


Figura 5. Variabilidad estacional (lluvias y seca fría) del parámetro de materia orgánica (%) para los sitios Protegido (a), de Uso Intensivo (b), de Uso Extensivo (c), y Valle de los Encinos (d).

Variabilidad estacional del carbono orgánico

La variabilidad estacional del carbono orgánico % no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre la temporada de lluvias y la temporada seca-fría. Los valores promedio más altos de carbono orgánico % se observaron en la temporada seca-fría, el sitio Protegido presentó un valor promedio de 0.37 ± 0.16 %, el sitio de Uso Intensivo de 0.37 ± 0.44 %, el sitio de Uso Extensivo de 0.30 ± 0.09 % y el sitio Valle de los Encinos de 0.20 ± 0.05 %.

En las Figuras 6a-6d se presenta la variabilidad estacional del parámetro de carbono orgánico (%) en cada uno de los 4 sitios de muestreo. Durante la temporada de lluvias, el % de carbono orgánico fluctuó entre 0.15 y 0.95%; el sitio Protegido presentó los valores más altos de carbono orgánico % (Figura 6a) y el valle de los Encinos los más bajos (Figura 6d). El contenido de carbono orgánico (%) encontrado para ambas temporadas se puede clasificar como bajo [7].

La variabilidad entre sitios indica que el manejo forestal es importante para la generación de carbono orgánico principalmente en las capas superficiales lo que implica, que la conservación del suelo superficial es importante no solo para mantener la productividad de la tierra, sino también como contramedida al calentamiento global [9].

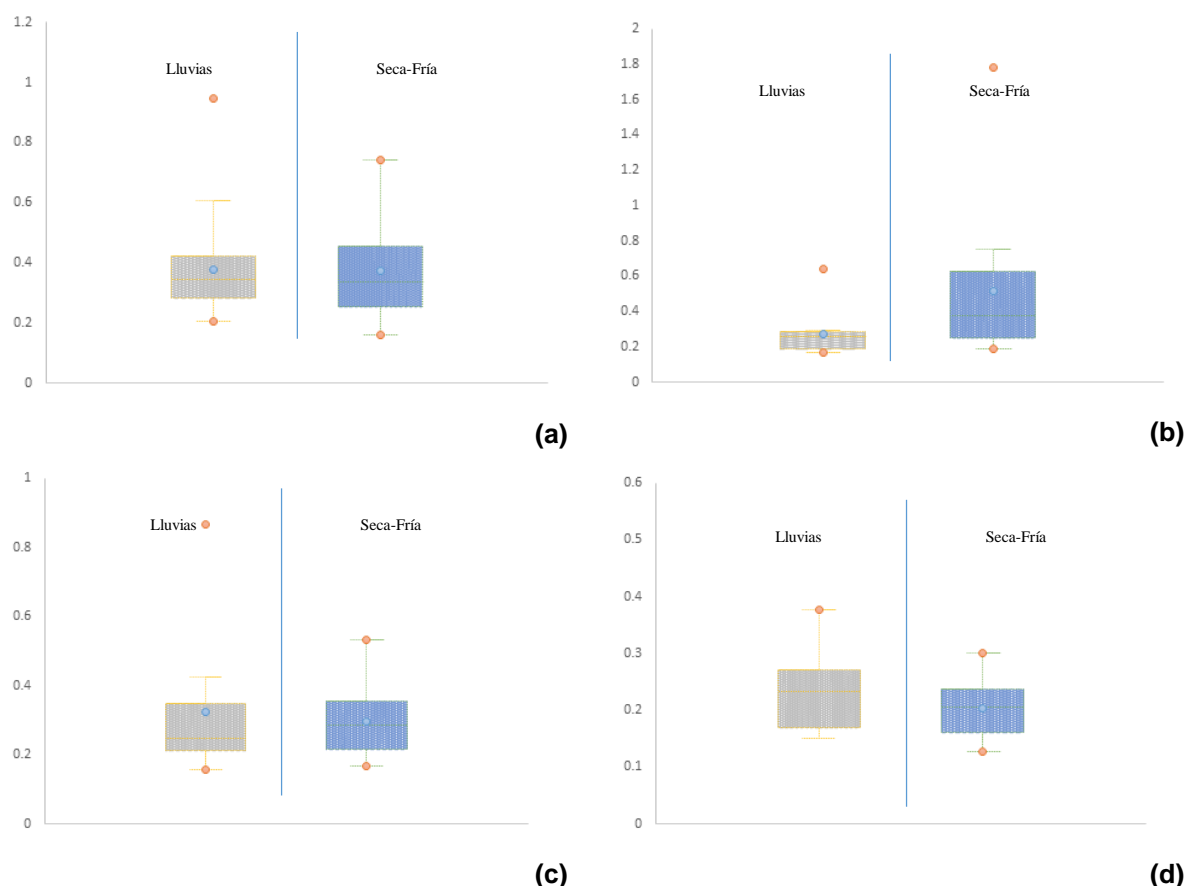


Figura 6. Variabilidad estacional (lluvias y seca fría) del contenido de carbono orgánico (%) en los sitios Protegido (a), de Uso Intensivo (b), de Uso Extensivo (c), y Valle de los Encinos (d).

Variabilidad estacional de la tasa de almacenamiento de carbono

La variabilidad estacional del almacenamiento de carbono presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la temporada de lluvias y la temporada seca-fría. El promedio general en lluvias fue de $1.62 \pm 0.47 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en la capa superficial y $4.09 \pm 0.50 \text{ Mg C ha}^{-1}$ a 30 cm de profundidad, en la temporada seca-fría el promedio general fue de $3.13 \pm 0.99 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en la capa superficial y $6.32 \pm 0.33 \text{ Mg C ha}^{-1}$ a 30 cm de profundidad.

Los valores promedio más altos de almacenamiento de carbono se observaron en la temporada seca-fría, el sitio Protegido presentó un valor promedio de $3.79 \pm 2.76 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en la capa superficial y $6.08 \pm 2.24 \text{ Mg C ha}^{-1}$ a 30 cm de profundidad, el sitio de Uso Intensivo de $3.08 \pm 2.76 \text{ Mg C ha}^{-1}$, el sitio de Uso Extensivo de $3.26 \pm 0.97 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en la capa superficial y $6.56 \pm 1.85 \text{ Mg C ha}^{-1}$ a 30 cm de profundidad y el sitio Valle de los Encinos de $1.86 \pm 0.52 \text{ Mg C ha}^{-1}$ (Figuras 7a y 7b). Los bajos valores de almacenamiento de carbono en la temporada de lluvias pueden ser resultado del proceso de dilución asociado a las precipitaciones de la temporada.

De manera general, los valores más altos de almacenamiento de carbono se observaron en el sitio Protegido y en el de Uso Extensivo ambos sitios presentan un mayor grado de conservación y menor influencia antropogénica. Los valores más bajos se presentaron en el sitio Valle de los Encinos el cuál es un sitio reforestado y cuya característica es la presencia de suelos muy compactos, de poca profundidad y poco permeables. Los valores de almacenamiento de carbono son bajos en comparación con otros sistemas forestales [10-11]. El Bosque de Tlalpan es un sitio con suelos volcánicos de tipo Litosol, estos suelos generalmente presentan un espesor menor a 10 cm y un volumen total de menos del 20 % de tierra fina sobre afloramientos rocosos. Las características generales de estos suelos son pH ligeramente ácidos (5.45 a 6.15), baja densidad aparente (0.98 a 1.21 g cm^{-3}) y materia orgánica de 2.04 a 7.61% [12], condiciones muy similares a las observadas en nuestros resultados

Comparando los resultados obtenidos en el Bosque de Tlalpan con valores encontrados en el Parque Nacional de Nevado de Toluca [13] y en el Bosque de San Juan de Aragón [14] se puede observar que los valores de

humedad, pH y conductividad no fueron muy diferentes a los encontrados en el presente estudio, a excepción del contenido de materia y carbono orgánicos que fueron ligeramente más bajos.

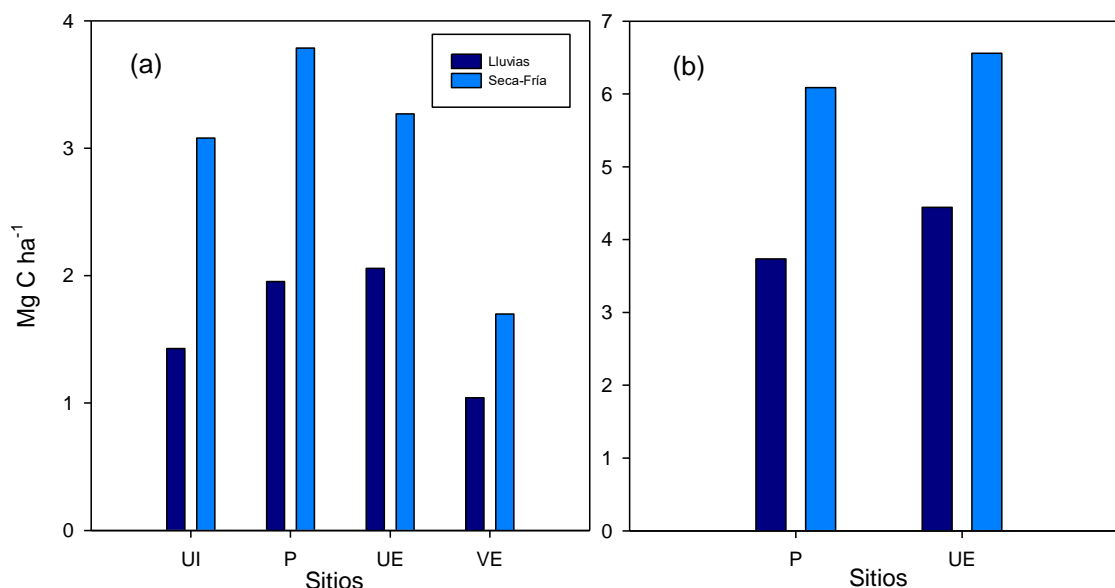


Figura 7. Variabilidad estacional (Lluvias y seca fría) de la tasa de almacenamiento de carbono (Mg C ha⁻¹) para los sitios Protegido (P), de Uso Intensivo (UI), de Uso Extensivo (UE), y Valle de los Encinos (VE) en la capa superficial de suelo (a) y a 30 cm de profundidad (b).

Conclusiones

En todos los sitios de muestreo se observó una variabilidad estacional en las características fisicoquímicas del suelo, los valores más altos de humedad, conductividad eléctrica y pH se presentaron en la época de lluvia.

La materia y carbono orgánicos fueron muy similares en ambas temporadas, los valores mayores se observaron en el sitio Protegido y en el de Uso Extensivo esto se puede asociar a que son sitios más conservados, ubicados a una mayor altitud, y el suelo es menos pedregoso en comparación con el resto de los sitios.

Los resultados del presente trabajo muestran que el grado de conservación juega un papel importante en los almacenes de carbono, los sitios Protegido y de Uso Extensivo presentaron los valores más altos en tanto que, el Valle de los Encinos (sitio con mayores condiciones de perturbación) presentó los valores más bajos.

Si bien el almacenamiento de carbono fue bajo en comparación con otros bosques mexicanos, los resultados obtenidos permitieron no sólo conocer el estado de un bosque urbano que coexiste con una gran urbe, sino también destacar la importancia de conservar en buen estado los suelos en este tipo de ecosistemas para incrementar su potencial de captura de carbono.

Agradecimientos

Investigación realizada gracias al Programa UNAM-PAPIIT IA102321 "Dinámica de los ciclos biogeoquímicos derivada de los impactos antropogénicos en un bosque urbano". Nuestro agradecimiento al M. en C. Faustino Zavala García por su apoyo en la logística y participación en el trabajo de campo.

Referencias

- [1] INECC-PNUD. "Estudio para la identificación, caracterización y evaluación del balance entre las emisiones de GEIs y las zonas de captura y almacenamiento de carbono en zonas de ecosistemas costero/marinos del Pacífico, Golfo de México y la Península de Yucatán (Carbono azul)". Proyecto 85488 "Sexta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", 430 pp. Programa Mexicano del Carbono, A.C. México. 2017
- [2] H. Burbano "El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático", Revista de Ciencias Agrarias, 35(1): 82-96, 2018.
- [3] S. Cram, H. Cotler, L. Morales, I. Sommer and E. Carmona, "Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal". Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM 66: 81-104. 2008.
- [4] S. López, T. Martínez, H. Benavides, M. García and G. Ángeles, "Reservorios de biomasa y carbono en el arbolado de la primera sección del Bosque de Chapultepec, Ciudad de México". Madera y Bosques, vol. 24, no. 3 e2431620, 2018.
- [5] R. Mañón, E. Orozco and P. Mireles," Evaluación de los servicios ambientales del Parque Metropolitano Bicentenario, Toluca, México", Revista Iberoamericana de Ciencias, vol. 5, no. 3, pp. 51-66, 2018.
- [6] R. Domínguez, A. Tobías, S. Ruíz, P. Acosta, S. Morales, A. Galindo, A. Arrieta, R. Sánchez, "Almacenamiento de carbono y agua en un área periurbana de Tabasco", Terra Latinoamericana , 37, pp. 197-208, 2019.
- [7] NOM-021-RECNAT-2000, Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis (2002). DOF (Diario Oficial de la Federación).
- [8] R. Samson, "Introduction: Urban trees as environmental engineers. In: D. Pearlmutter, C. Calfapietra, R. Samson, L. O'Brien, S. Krajter, G. Sanesi, and R. Alonso del Amo (eds.). The urban forest. Cultivating green infrastructure for people and the environment. pp. 3-5, 2017, Springer. Switzerland. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-50280-9_1.
- [9] K. Morisada, and K. Ono and H. Kanomata, "Organic carbon stock in forest soils in Japan", Geoderma, 119, pp. 21 – 32, 2004.
- [10] L. Galicia, M. Gamboa-Cáceres, S. Cram, B. Chávez-Vergara, V. Peña-Ramírez, V. Saynes and C. Siebe, "Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México", Terra Latinoamericana, 34: 1-29, 2016.
- [11] J. Gómez , J. Etchevers, A. Monterroso, J. Campo, K. Paustian and C. Asensio, "Carbono orgánico del suelo y su relación con la biomasa radical de *Quercus* sp", Maderas y Bosques, vol.27, no. 4, e2742445, pp. 1-16, 2021. Doi: 10.21829/myb.2021.2742445
- [12] F. Zúñiga, M. Buenaño and D. Risco, " Caracterización física y química de suelos de origen volcánico con actividad agrícola, próximos al volcán Tungurahua", Revista Ecuatoriana de Investigaciones Agropecuarias, vol.1, no. 1, pp. 5-10, 2016. DOI: <https://doi.org/10.31164/reiagro.v1n1.2>
- [13] E. Cruz, A. Cruz, L. Aguilera, H. Norman, R. Velázquez, G. Nava, L. Dendooven, and B. Reyes, "Efecto en las características edáficas de un bosque templado por el cambio de uso de suelo", Terra Latinoamericana, 3, pp. 189-197, 2012.
- [14] L. Saavedra, D. Alvarado, T. Martínez and P. Hernández," Propiedades físicas y químicas del suelo urbano del Bosque San Juan de Aragón, Ciudad de México", Terra Latinoamericana, 38, pp. 529-540, 2020. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.644>.

Evaluación fisicoquímica y microbiológica de una bebida de jugo de piña-té verde matcha y probiótico.

Jazmin Lorenzo-Gonzalez¹, Ernestina Paz-Gamboa^{1*}, María de los Ángeles Vivar Vera¹, Omar Roberto López-Vidal¹

Departamento de Ingeniería Bioquímica, TecNM/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Av. Dr. Víctor Bravo Ahuja No. 561, Col. Predio el Paraíso, C.P.68350, San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México.

[*ernestina_paz@hotmail.com](mailto:ernestina_paz@hotmail.com)

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El objetivo del estudio fue evaluar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de una bebida funcional probiótica a base de jugo de piña/agua (9:1) adicionada con polvo de té verde matcha (0.3, 0.6, 0.9%) y *Lactobacillus acidophilus* como microorganismo probiótico (1-2%) previamente encapsulado por el método de extrusión. Las bebidas presentaron entre 12.4-12.8 de °Bx, acidez 0.40-0.49%, pH de 5.0-5.9 y azúcares reductores de 11.00-13.13 %. Se encontró que en el día 0, las bebidas elaboradas con *L. acidophilus* encapsulado al 1, 1.5 y 2% alcanzaron cuentas viables de 8.95-8.92, 9.11-9.75 y 11.39-11.58 Log UFC/ mL, respectivamente. Asimismo, hubo un incremento de ≈ 1.3 ciclos logarítmicos en el día 21 únicamente para el tratamiento con 2% de *L. acidophilus* encapsulado, alcanzando valores de 12.94 Log UFC/mL. Se concluye que la bebida evaluada cuenta con propiedades fisicoquímicas de una bebida de jugo y con cuenta viable recomendada para la denominación de producto probiótico.

Palabra clave: probióticos, piña, té verde matcha, encapsulado, bebida.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the physicochemical and microbiological properties of a functional probiotic drink based on pineapple juice/water (9:1) added with powder of green matcha tea (0.3, 0.6, 0.9%) and *Lactobacillus acidophilus* as probiotic microorganism (1-2%) previously encapsulated by extrusion method. The drinks showed values of °Bx among 12.4-12.8, acidity 0.40-0.49%, pH the 5.0-5.9 and reducing sugars the 11.00-13.13 %. It was found that on day 0, developed beverages with *L. acidophilus* encapsulated at 1, 1.5 y 2% had viable accounts of 8.95-8.92, 9.11-9.75 and 11.39-11.58 Log CFU/ mL respectively. Additionally, there was an increase of ≈ 1.3 logarithmic cycles on day 21 only for treatments with 2% the *L. acidophilus* encapsulated, reaching values of 12.94 Log CFU/ mL. It is concluded that the evaluated drink has the physicochemical properties of a juice drink and with a viable account recommended for denomination of a probiotic product.

Key words: probiotic, pineapple, green matcha tea, encapsulated, drink.

Introducción

Los ingredientes y alimentos funcionales pueden considerarse alimentos que confieren un beneficio para la salud además del valor nutritivo habitual del alimento, ejemplo conocidos de alimentos funcionales son aquellos que contienen compuestos bioactivos como minerales, fibra dietaria, fitoquímicos y bacterias probióticas [1]. Actualmente la demanda por parte de los consumidores sobre nuevos productos funcionales se ha incrementado. El valor nutritivo y económico de jugos de frutas y plantas es bien conocido, por lo que estos en conjunto pueden ser mejores portadores de vitaminas, antioxidantes, bacterias probióticas y otras sustancias bioactivas que promueven la salud y mejoran el bienestar humano. Es por ello que el desarrollo de nuevas bebidas a base de plantas como el té verde mezcladas con otros ingredientes como jugos, entre otros, generan nuevas combinaciones sensoriales y brindan sabores novedosos que cada vez es más demandado por los consumidores. Dentro de las variedades de té existentes procedentes de *Camellia sinensis*, el té verde matcha ha causado un gran interés por su sabor y numerosos beneficios que trae consigo al consumidor. El matcha (*Camellia sinensis*) es un té verde en polvo que se elabora con las hojas jóvenes de arbustos de té que han sido sombreadas durante algunas semanas antes de la cosecha. Este proceso de obtención del té matcha le confiere características específicas en las hojas, como un alto contenido de fitoquímicos (polifenoles, alcaloides y carotenoides) [2]. Asimismo, el uso de jugos como ingredientes de mezclas podrían mejorar el aroma y sabor del té verde matcha en el desarrollo de bebidas. Entre los jugos de frutas se encuentran los obtenidos a partir de frutos de piña (*Ananas comosus*) la cual se caracteriza por ser una fruta tropical apreciada por su aroma y sabor dulce, es una rica fuente de minerales y vitaminas que ofrecen una serie de beneficios para la salud, la variedad MD-2 es un híbrido conocido como "Honey Golden", "Golden Sweet" o "piña miel", resultado de una mezcla compleja de variedades donde más del 50% corresponde a la cayena lisa. En la hibridación de la piña miel se buscó mayor dulzura, así como uniformidad y consistencia en tamaño y madurez, un alto contenido de azúcar, una vida útil más larga y más aromática en comparación con otras variedades de piña. El uso de té verde y jugo de piña, puede ser una alternativa que en mezclas adecuadas generen como resultado una bebida refrescante, que podría funcionar como vehículo de probióticos para desarrollar una bebida funcional y equilibrada en el contenido de compuestos fitoquímicos. Los probióticos son aquellos microorganismos vivos que administrados en cantidades adecuadas pueden conferir efectos benéficos a la salud del consumidor mejorando la microbiota intestinal. Un producto probiótico se considera funcional solo si contiene 10^7 UFC/ mL en el momento del consumo [3]., sin embargo, existen ciertos factores que afectan la viabilidad, como el pH, acidez y almacenamiento. Por estos motivos se recurre a tecnologías que favorezcan su estabilidad y viabilidad para permanecer fisiológicamente activos al momento del consumo, como la encapsulación, para proteger los microorganismos antes y después del consumo con el fin de asegurar su impacto. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de una bebida funcional de jugo de piña, té verde matcha durante 21 días de almacenamientos, la cual se espera que además de resultar en una bebida con propiedades probióticas tenga propiedades fisicoquímicas características de una bebida de jugo y sensorialmente aceptable al consumidor.

Metodología

Materiales

El cultivo de *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 fue adquirido por Kwik-Stik™, Microbiologics, el cloruro de calcio, alginato de sodio, goma xantana de Sigma Aldrich® para la elaboración de los encapsulados. Las piñas (*Ananas comosus*) de la variedad MD-2 fueron adquiridas de San Juan Bautista Tuxtepec con un grado de madurez 4 (3/4 de madurez), se utilizó piña (*Ananas comosus*) de la variedad MD-2 en escala de madurez 3/4 que es cuando la coloración amarilla de la cáscara del fruto, se extiende de la base del pedúnculo hacia el ápice y cubre el 75% de la superficie de la fruta [4]. El polvo de té verde matcha fue de una marca comercial.

Activación y propagación del *Lactobacillus acidophilus*.

El cultivo liofilizado de ATCC 4356 se preparó mediante transferencia secuencial de dos veces en caldo MRS, posteriormente se incubó anaeróticamente a 37 °C durante 72 h, transcurrido el tiempo se centrifugó a 3500 rpm durante 20 min a 4 °C, el paquete celular obtenido se lavó a 4000 rpm durante 15 min a 4 °C en agua peptonada estéril al 1% (peso/vol.) [5].

Encapsulación del *Lactobacillus acidophilus*.

La encapsulación se realizó utilizando alginato de sodio (AlgNa) al 2% como sustancia encapsulante, el cual se preparó con 50 mL de agua destilada y goma xantana al 0.015%, en vasos de precipitados de 250 mL se adicionaron por separado 1, 1.5 y 2% de la suspensión activa (*L. acidophilus* 10¹⁰ UFC/ mL). La solución preparada fue agregada por extrusión con un tamaño de aguja de 21 G x 32. Sobre un termo agitador se colocaron 200 mL de CaCl₂ (0.2 M) como agente entrecruzante para la obtención de las cápsulas, se mantuvo en agitación suave durante 420 rpm/30 min, con la finalidad de evitar la coalescencia y reticulación de las partículas. Las cápsulas obtenidas se depositaron en una bolsa zipper, se almacenaron en refrigeración a 4 °C/ 12h [6].

Desarrollo de la bebida de jugo de piña-té verde matcha adicionada con probióticos

El desarrollo de la bebida de este trabajo consistió primeramente en realizar la extracción del jugo a partir de los frutos de piña con las características correspondientes mencionadas previamente en este trabajo. Las piñas se lavaron, desinfectaron y se eliminó manualmente la cáscara. La pulpa fue cortada en rodajas eliminando el corazón y se procesó en un extractor de jugos marca Récorde®. El jugo de piña obtenido fue diluido con agua en una proporción 9:1. El jugo de piña diluido con agua (9:1), fue adicionado con polvo de té verde matcha en concentraciones de 0.3, 0.6 y 0.9% y el microorganismo probiótico *Lactobacillus acidophilus* encapsulado a concentraciones de 1, 1.5 y 2%. se embotelló en frascos color ámbar de 120 mL; una vez embotellado se pasteurizó a 63 °C por 30 min.

Análisis fisicoquímico de la bebida probiótica

Se determinó sólidos solubles totales (932.14), acidez titulable (947.05), pH y azúcares reductores de acuerdo al AOAC 2005 [7]. La determinación de sólidos solubles totales se realizó inmediatamente después de la extracción del jugo, utilizando un refractómetro digital (Generic modelo K13979). La acidez titulable, expresada como porcentaje de ácido cítrico, se determinó mediante titulación frente a NaOH 0.1 N utilizando fenolftaleína como indicador de punto final. El valor de pH se obtuvo mediante el uso de un potenciómetro (Ultra-basic) luego de estandarizarlo con buffer de pH 4, 7 y 10. La cantidad de azúcar reductor del jugo se calculó mediante el método de Lane & Eynon [8].

Viabilidad del *Lactobacillus acidophilus* encapsulado de la bebida funcional durante 21 días de almacenamiento a 4 ± 1 °C.

La viabilidad se evaluó durante los días 1, 7 y 21 días de almacenamiento a 4 ± 1 °C, se utilizó 10 mL del jugo y se homogenizó en 90 mL de agua peptonada estéril al 1%. Se transfirió 1 mL de las diluciones 10⁷, 10⁸, 10⁹ en cajas petri para después verter aproximadamente 20 mL de medio MRS. Una vez solidificadas las cajas fueron incubadas en la estufa, creándoles un ambiente anaeróbico, a 37 °C/ 72h [9].

Análisis estadístico.

Todos los análisis fueron realizados por triplicado y expresados como la media de tres repeticiones ± la desviación estándar, se utilizó una prueba de rango múltiple de Tukey con un nivel de significancia del 95% utilizando el software estadístico Minitab versión 17.

Resultados y discusión

Análisis fisicoquímico de la bebida

Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de la bebida probiótica de jugo de piña y polvo de té verde matcha y *Lactobacillus acidophilus* encapsulado. En la tabla 1 y 2 se presentan los resultados.

La tabla 1, muestra el porcentaje de los sólidos solubles totales representados como °Bx de la bebida de jugo de piña-polvo de té verde matcha y *Lactobacillus acidophilus* encapsulado durante 21 día de almacenamiento, observándose que aumentaron a medida que se incrementa la concentración del polvo de té verde matcha y *Lactobacillus acidophilus*. Esto se puede deber al contenido de azúcares, fibra dietaria que contiene el té verde matcha en su composición química, carbohidratos y ácidos orgánicos contenidos en el jugo de piña, aunado al

hecho que está relacionado con el efecto de que durante el almacenamiento en refrigeración puede ocurrir el hidrólisis de sacarosa a sus monómeros (glucosa y fructosa), estos azúcares simples son preferiblemente consumidos por los cultivos probióticos con el mantenimiento del sólidos solubles.

Tabla 1. Contenido de sólidos solubles totales en la bebida de jugo de piña-té verde matcha durante 21 días de almacenamiento a 4 ± 1 °C.

Tratamientos	Sólidos solubles totales (% Brix)		
	Día 1	Día 7	Día 21
Control (Jugo-té)	12.50±0.00 ^d	12.60±0.00 ^h	12.70±0.00 ⁱ
T1 (0.3% t.m-1% L.a.)	12.45±0.00 ^e	13.00±0.07 ^g	13.10±0.00 ⁱ
T2 (0.6% t.m-1% L.a.)	12.60±0.00 ^d	13.10±0.00 ^f	13.11±0.00 ^h
T3 (0.9% t.m-1% L.a.)	12.60±0.00 ^d	13.10±0.00 ^f	13.11±0.00 ^g
T4 (0.3% t.m-1.5% L.a.)	12.70±0.00 ^c	13.30±0.00 ^e	13.14±0.00 ^f
T5 (0.6% t.m-1.5% L.a.)	12.80±0.00 ^b	13.40±0.00 ^d	13.15±0.00 ^e
T6 (0.9% t.m-1.5% L.a.)	12.80±0.00 ^b	13.50±0.00 ^c	13.16±0.00 ^d
T7 (0.3% t.m-2% L.a.)	12.90±0.00 ^a	13.50±0.00 ^c	13.17±0.00 ^c
T8 (0.6% t.m-2% L.a.)	12.95±0.00 ^f	13.60±0.00 ^b	13.18±0.00 ^b
T9 (0.9% t.m-2% L.a.)	12.96±0.00 ^f	13.70±0.00 ^a	13.19±0.00 ^a

Todos los valores se expresan como la media \pm desviación estándar. Medias con letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$). t.m: té matcha, L.a: *Lactobacillus acidophilus*.

En la tabla 2 se presenta el contenido de azúcares reductores, el cual tiene un valor inicial de 11.33 % en el control mientras que para el día 1 en las muestras T7, T8 y T9 hubo un contenido mayor de 17.00, 18.41 y 21.06% a las concentraciones adicionadas de 0.3, 0.6 0.9% de polvo de té verde matcha y *L. acidophilus* encapsulado al 2% donde se observó un aumento; lo mismo se ve reflejado para el día 7 y 21 en las muestras T7, T8 y T9, lo cual se puede atribuir a la adición del té verde matcha, jugo de piña y *L. acidophilus*, ya que por sí solo el té verde matcha contiene 3.82% de azúcares principalmente reductores como la glucosa mientras que el jugo de piña contiene 12.1% de azúcares totales. Por lo que estos azúcares presentes hacen que se favorezca la estabilidad del *Lactobacillus acidophilus* ya que degradan la glucosa por la vía de las pentosas y luego transforman el acetil- fosfato en acetato y el piruvato en lactato [10].

Tabla 2. Contenido de azúcares reductores en la bebida de jugo de piña-té verde matcha durante 21 días de almacenamiento

Tratamientos	Azúcares reductores (%)		
	Día 1	Día 7	Día 21
Control (Jugo)	11.33±0.57 ^{ef}	12.33±0.57 ^e	13.00±1.00 ^g
T1 (0.3% t.m-1% L.a.)	10.58±0.07 ^{eA}	10.63±0.00 ^{eA}	10.53±0.07 ^{hA}
T2 (0.6% t.m-1% L.a.)	13.93±0.22 ^{dA}	13.42±0.04 ^{deA}	13.13±0.12 ^{gA}
T3 (0.9% t.m-1% L.a.)	16.67±0.32 ^{bA}	16.78±0.37 ^{cA}	15.54±0.17 ^{fA}
T4 (0.3% t.m-1.5% L.a.)	15.10±1.64 ^{cA}	16.05±1.64 ^{cdA}	17.00±0.00 ^{eA}
T5 (0.6% t.m-1.5% L.a.)	15.92±0.16 ^{bA}	17.70±0.07 ^{bcA}	18.74±0.24 ^{dA}
T6 (0.9% t.m-1.5% L.a.)	16.66±0.00 ^{bA}	17.00±0.00 ^{bcA}	19.76±0.00 ^{cA}
T7 (0.3% t.m-2% L.a.)	17.00±0.00 ^{bA}	17.46±0.20 ^{bcA}	20.90±0.59 ^{bA}
T8 (0.6% t.m-2% L.a.)	18.41±2.45 ^{aA}	19.83±2.45 ^{abA}	20.22±0.00 ^{cA}
T9 (0.9% t.m-2% L.a.)	21.06±0.30 ^{aA}	21.06±0.30 ^{aA}	22.36±0.00 ^{aA}

Todos los valores se expresan como la media \pm desviación estándar. Medias con letras mayúsculas en la misma línea son significativamente diferentes, letras minúsculas en la misma columna son significativamente diferente, mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$). t.m: té matcha, L.a: *Lactobacillus acidophilus*.

La figura 1 muestra los resultados del cambio de valores de pH de la bebida de jugo de piña- polvo de té verde matcha durante 21 días de almacenamiento a 4 °C, se observa que el pH se incrementó de 5 a 5.1 en el día 1 de almacenamiento. Se encontró diferencia significativa en función al tiempo para cada uno de los tratamientos, cuando se utilizan concentraciones de 0.3 y 0.6% de té verde con 1.5 % de *L. acidophilus*, esto se le puede atribuir a la adición del jugo de piña que contiene ácido cítrico el cual favorece la formación de iones citrato que actúan como regulador de pH cuando entra en contacto con el té verde matcha, pudiendo favorecer la supervivencia del *L. acidophilus*. Sin embargo, cuando se incrementa la concentración de *L. acidophilus* a 2%, se observa diferencia significativa para cada uno de los tratamientos T6, T7, T8 y T9; esto se puede atribuir a la producción de ácido láctico generado durante el metabolismo de *L. acidophilus*.

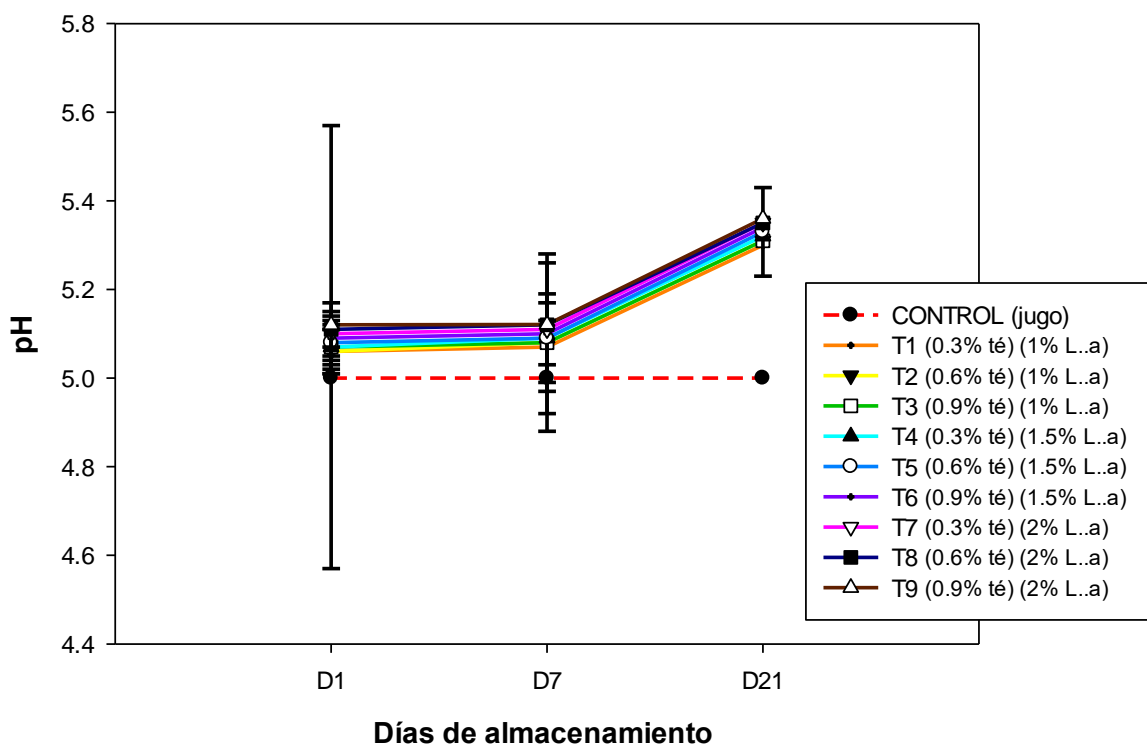


Figura 1. Cambios en pH de la bebida de jugo de piña-té verde matcha durante 21 días de almacenamiento a 4 °C

En la figura 2 se muestra el comportamiento de la acidez de los días 1, 7 y 21 de almacenamiento con diferentes concentraciones de probiótico encapsulado (1,1.5,2%), y té verde matcha (0.3,0.6,0.9%), observándose que se presentó un aumento en el día 21, favoreciéndose en los tratamientos T7, T8 y T9 que fueron elaborados con encapsulados con 2% de *L. acidophilus* y té verde matcha (0.3, 0.6, 0.9%), alcanzando valores de 0.47, 0.48 y 0.49 % de acidez respectivamente, debido al metabolismo propio de *L. acidophilus*. El mantenimiento del pH y la acidez titulable puede estar relacionado con la alta capacidad amortiguadora de los jugos y con el hecho de que algunas cepas probióticas como el *L. acidophilus* es capaz de metabolizar ácido cítrico, lo cual se mantiene estable frente a los cambios de pH cuando el microorganismo probiótico está encapsulado [11].

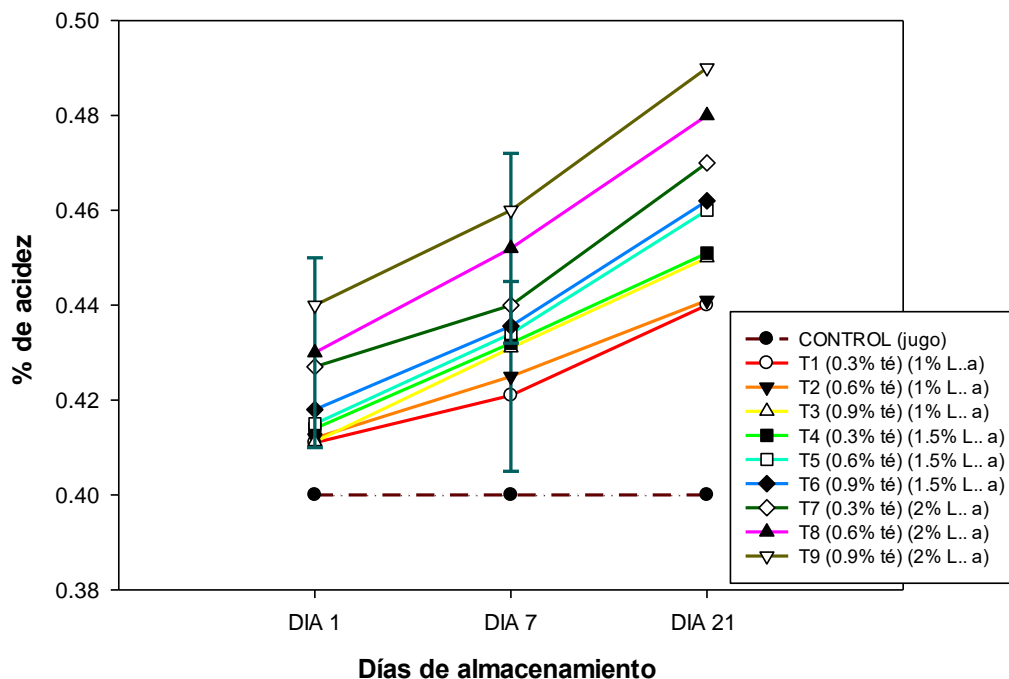


Figura 2. % de acidez de la bebida de jugo de piña y té verde matcha durante 21 días de almacenamiento

Viabilidad de *Lactobacillus acidophilus* en cápsulas obtenidas al 1, 1.5 y 2%.

Las cápsulas se obtuvieron por extrusión. En la tabla 3 se presenta los datos obtenidos para 1 g de cápsulas, con una viabilidad al 1% de 8.95, 1.5% con 9.57 y 2% de 11.58 Log UFC/g de *L. acidophilus*. Identificando que las cápsulas entran dentro del rango de encapsulados ya que una microcápsula mide dentro de un rango de 100 µm.

Tabla 3. Viabilidad del *Lactobacillus acidophilus* en 1 g de cápsula

<i>L. acidophilus</i> (%)	Encapsulados (g)	Cantidad (unidades)	Peso de una capsula (g)	Diámetro (mm)	Viabilidad (Log UFC/g)
1	1	72±0.5	0.011±0.0002	1	8.95±0.1
1.5	1	73±0.5	0.011±0.0002	1	9.57±0.1
2	1	74±0.5	0.011±0.0002	1	11.58±0.1

Viabilidad de *Lactobacillus acidophilus* en el sistema encapsulado en la bebida funcional.

En la figura 3 se observa con 1 % de *L. acidophilus* y 0.3, 0.6 y 0.9% de té verde matcha una viabilidad inicial de 8.95, 8.90 y 8.92 Log UFC/ mL respectivamente y con 1.5% de *L. acidophilus* una viabilidad de 9.11, 9.24 y 9,75 Log UFC/ mL, no encontrándose diferencia estadística significativa en los tratamientos ($p < 0.05$), por el contrario, con la concentración de 2% de *L. acidophilus* se obtuvo una viabilidad inicial de 11.45, 11.58 y 11.39 Log UFC/ mL. Sin embargo, para el día 21 los tratamientos tuvieron un incremento en su viabilidad con respecto al día 1, los tratamientos con 1% de *L. acidophilus* incrementaron 1.25 ciclos logarítmicos. Los tratamientos con 1.5 y 2% de *L. acidophilus* incrementaron 1.36 ciclos logarítmicos. Los resultados se pueden atribuir a que la encapsulación favorece la viabilidad del *L. acidophilus* durante el periodo de almacenamiento ya que la bebida no es sometida a ningún tipo de estrés que afecte su viabilidad, así mismo el té matcha y el jugo de piña favorece la estabilidad del probiótico siendo un buen sustrato para su crecimiento. Estos resultados pueden ser comparados con otras investigaciones donde demostraron la correlación positiva en el crecimiento bacteriano con la suplementación de té verde en leche y yogur observando que con concentraciones elevadas de extracto de té verde crean un sabor

favorable [12]. En otro estudio realizado, utilizando jugo de granada reportaron 6.5×10^9 UFC/ mL lo cual concluyeron que la utilización de jugo de frutas son un buen sustrato para el crecimiento de bacterias probióticas [13].

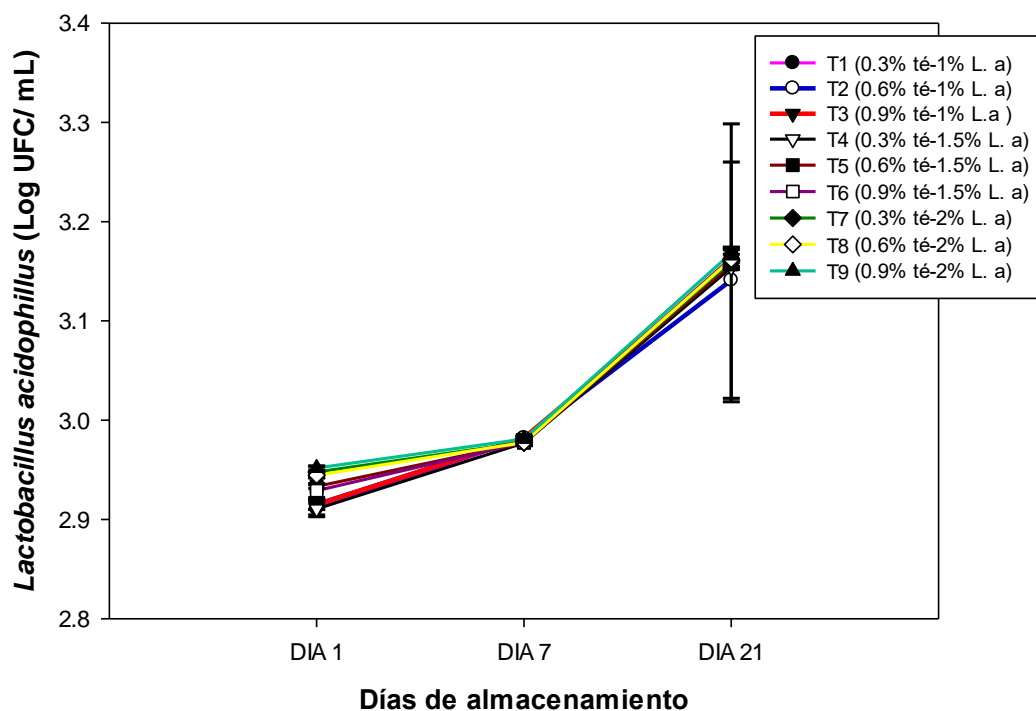


Figura 3. Viabilidad del sistema encapsulado con 21 días de almacenamiento

Trabajos a futuro

Realizar la cuantificación de polifenoles totales, capacidad antioxidante mediante los métodos ABTs+, DPPH y FRAP, así como una evaluación sensorial de la bebida que presente mayor viabilidad de probiótico.

Conclusión

La adición de *Lactobacillus acidophilus* a la bebida desarrollada, generó cambios significativos en los factores fisicoquímicos a los 21 días de almacenamiento, incrementó el porcentaje de acidez, disminuyó el pH y favoreció el incremento de sólidos solubles esto asociado a la actividad metabólica de la bacteria. En el análisis de viabilidad se encontró que la bebida contenía el nivel deseado de cultivos probióticos (10^9 UFC/ mL). Se concluye que la bebida evaluada cuenta con propiedades fisicoquímicas de una bebida de jugo y con cuenta viable recomendada para la denominación de producto probiótico.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al TecNM/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, por el apoyo para la realización de este proyecto de investigación.

Referencias

- [1] G. Gallego and W. J. Salminen, "Novel probiotics and prebiotics: How can they help in human gut microbiota dysbiosis" *Applied Food Biotechnology* 3(2), 72-81, 2016.
- [2] T. Koláčková, K. Kolofíková, I. Sytařová, L. Snopek, D. Sumczynsk and J. Orsavová. "Matcha Tea: Analysis of Nutritional Composition, Phenolics and Antioxidant Activity" *Plant Foods for Human Nutrition* 75(1), 48-53, 2020.

- [3] D. Charalampopoulos, S.S. Pandiella and C. Webb, "Application of cereals and cereal components in functional foods: A review". *International Journal of Food Microbiology*, 79: 131-141 (2018).
- [4] F. Ortakci and S. Sert, "Stability of free and encapsulated *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356 in yogurt and in an artificial human gastric digestion system". *Journal of Dairy Science* Vol.95 No. 12, (2017).
- [5] BANCOMET, "Norma de calidad para piña fresca". *CIAD, A.C. Tecnología de alimentos de origen vegetal*, 1999.
- [6] K. Pérez, M. Vivar, J. Rodríguez, E. Paz. "Effect of a multi-polymeric compound on the coencapsulation of *Lactobacillus reuteri* exposed to high temperatures". *Advances and Perspectives in Biotechnology and Agricultural Sciences*, 31-49, (2016).
- [7] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). *Official Methods of Analysis*, 18th edn (edited by W. Horwitz & G.W. Latimer) Gathersburg, MD, USA: AOAC International (2005)
- [8] J. H. Lane and L. Eynon. "Volumetric determination of reducing sugars by means of Fehling's solution, with methylene blue as internal indicator", *IS1 XXV*: 143-149.
- [9] T. C. Pimentel, G. S. García, S. H. Prudencio. "Probiotic viability, physicochemical characteristics and acceptability during refrigerated storage of clarified apple juice supplemented with *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* and oligofructose in different package type". *LWT-Food science and Technology*, 63 (1), 415-422.
- [10] Foo, E. L.; H. G. Griffin; R. Mollby & C. G. Hedén. (Editors). 1993. *The Lactic Acid Bacteria*. Horizon Scientific Press. United Kingdom, 89 – 91.
- [11] Pimentel, TC, Klososki, SJ, Rosset, M., Barão, CE y Marcolino, VA. "Zumos de frutas como alimentos probióticos". *Bebidas deportivas y energéticas*, 483–513. doi:10.1016/b978-0-12-815851-7.00014-0 (2019).
- [12] Marhamatizadeh, M, Ehsandoost, E., Gholami P. "The influence of Green Tea (*Camellia sinensis* L.) Extract on characteristic of probiotic bacteria in milk and yoghurt during fermentation and refrigerated storage". *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 599-606, Vol., 2 (2013).
- [13] M. Thakur and RK. Sharma. "Development of Probiotic Pomegranate Beverage and Its Physico-Chemical and Microbial Characterization", *Int. J. Pure App. Biosci*, 5(1): 35-41, (2017).

Pellets energéticos obtenidos de podas de muérdago *Struthanthus interruptus*

Paulina Aguilar Hernández¹, Elizabeth Quintana Rodríguez³, Arturo Guerrero Barranco³, Lorena Amaya Delgado², Domancar Orona Tamayo^{3*}

¹Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato (IPN-UPIIG), Silao, Guanajuato. ²Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ A.C.), Guadalajara, Jalisco. ³Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC A.C), León, Guanajuato.
*dorona@ciatec.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Los pellets elaborados a partir de biomasa se han popularizado debido a sus importantes propiedades energéticas, posicionándose como una alternativa de combustible ecológico. *Struthanthus interruptus* es un muérdago que afecta gran proporción del arbolado urbano, y para eliminarlo se realizan podas generando biomasa no utilizada que provoca contaminación ambiental. En el presente trabajo se elaboraron pellets a partir de podas de árboles infectados por *S. interruptus* para conocer su capacidad como un posible combustible sólido. Para ello, se determinaron parámetros de elaboración del pellet; propiedades como el porcentaje de cenizas, e índice de durabilidad del pellet (PDI). Se obtuvo un PDI de 96.9%, densidad aparente de 398 kg/m³, humedad de 6.05% y cenizas de 4.97%. Los pellets hechos de podas de muérdago presentaron propiedades para potencialmente ser usados como un combustible sólido.

Palabras clave: Pellet energético, podas de muérdago, energía sólida, biocombustible sólido.

Abstract

Pellets made from biomass have become popular due to their important energy properties, contributing to the reduction of climate change. *Struthanthus interruptus* is a mistletoe that affects a large proportion of urban trees, and to eliminate it unused biomass is pruned, causing environmental and health pollution. In the present work, pellets were made from pruning trees developed by *S. interruptus* to determine their capacity as a possible solid fuel. For this, parameters of the pellet elaboration were determined; as well as the percentage of ashes, pellet durability index (PDI). With PDI of 96.93 ± 4.80%, bulk density of 398.14 ± 0.20 kg/m³, 6.05 ± 0.06% humidity and 4.97 ± 0.76% ash, the pellets made from mistletoe pruning have properties to be used as solid fuel.

Keywords: Energetic pellet, mistletoe pruning, solid energy, solid biofuel.

Introducción

La obtención de energía más común en el mundo proviene de la quema de combustibles fósiles; los cuales anualmente incrementan las emisiones a billones de toneladas de CO₂ y metano [1]. La preocupación y deterioro en el cambio climático recientemente ha popularizado el uso de energías renovables como la energía eólica, geotérmica, nuclear, y el aprovechamiento de biocombustibles. Hasta agosto del 2021 el 27% de la obtención de la energía eléctrica mundial proviene de combustibles renovables. El uso de

biocombustibles de residuos agrícolas y forestales, en particular los de energéticos sólidos como los pellets, va al alza y parece indicar que el futuro impulsado por el uso de energías renovables no es imposible ni lejano [2]. Los pellets energéticos, son uno de los biocombustibles sólidos más utilizados en el planeta debido al incremento de la densidad de biomasa disponible, sus propiedades mecánicas, que permiten largos traslados sin grandes pérdidas materiales, y sus propiedades fisicoquímicas que, conceden un excelente combustible para la obtención de energía térmica que pueden ser usados en calefactores, estufas de casas y hasta en centrales de energía termoeléctricas [3]. En México el mercado para los pellets energéticos no es tan popular. Sin embargo, al ser un país donde hay residuos forestales y agrícolas de disponibilidad inmediata, este biocombustible podría reemplazar hasta el 73% la demanda de gas para calefacción. Se estima que el uso de energía sólida podría mitigar hasta el 18% de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la producción de electricidad en el país [4].

Existen residuos forestales que son derivados del daño que provocan las plantas parásitas a los árboles, representando una amenaza para la subsistencia de árboles huéspedes [5]. En León, Guanajuato, existe una plaga de muérdago que afecta aproximadamente al 65% del arbolado urbano de la ciudad (Figura 1A). *Struthanthus interruptus* es un tipo de muérdago muy agresivo que crece en árboles como lo son arces, pinos, jacarandas, robles, mezquites, entre otros que forman parte del entorno urbano [6].

El mejor control para estas plagas es podar las ramas del árbol infectado. Solo en la ciudad de León, se generan cerca de 8.0 toneladas de residuos derivadas de las podas cada año, de las cuales, no hay métodos para su aprovechamiento. El hacinamiento de estas podas genera aumento en la población de roedores y patógenos que podrían traer repercusiones a la salud de las personas. El objetivo de este trabajo es elaborar pellets energéticos a partir de podas del muérdago *S. interruptus*, evaluando las condiciones de pelletizado y propiedades fisicoquímicas con el fin de determinar si los pellets de muérdago podrían ser un nuevo combustible sólido.

Metodología

Recolección y procesado de biomasa

Las podas de árboles infectados con muérdago *Struthanthus interruptus* fueron recolectados en la ciudad de León, Guanajuato, con ayuda de la asociación sin fines de lucro "Mezquite Sin Muérdago A.C.". Posteriormente, el muérdago fue secado al sol durante 5 días. Una vez seco, el muérdago fue introducido a un molino de cuchillas (Pagani) de carga energética de a 7.5 hp, 60 Hz, y fue obtenido un material con tamaño de partículas menores o igual a 5.0 mm.

Pelletizado

El proceso de pelletizado se realizó en una máquina de rodillos en seco para alimentos balanceados modelo AF-150 (Figura 1B) equipada con un motor WEG W22 trifásico de 230 V, 5 hp y con un disco de tamiz de 3.0 mm de diámetro.

Eficiencia del proceso de pelletizado

La eficiencia del proceso de pelletizado se refiere al gasto energético que se consume en producir un volumen determinado de pellets, y se reporta como consumo energético específico. Para ello, se adicionaron 1.5 kg de biomasa molida a la pelletizadora y se analizó el tiempo necesario para pelletizar la biomasa por medio de un cronometro.

La temperatura fue medida por medio de un termómetro infrarrojo dirigido entre el dado y tamiz de extrusión. Los kilowatts se midieron directamente con un detector conectado a la línea alimentadora de corriente eléctrica de la máquina de pelletizado y se registró el consumo por cada fórmula empleada.

La eficiencia energética del pelletizado por tonelada métrica (KWh/Ton) fue calculada a partir de la siguiente ecuación

$$EEP = \frac{CE_p}{FP_p * t_p} (1000)$$

Donde:

EEP = eficiencia energética de pelletizado [KWh/Ton]

CE_p = consumo energético de pelletización [KWh]

FP_p = flujo de producción de pelletización [Kg/h]

t_p = tiempo de pelletización [h]

Índice de durabilidad del pellet (PDI)

Después del pelletizado, inmediatamente se pesaron 500 gr de pellets de cada formulación y colocados en tamices (Tyler) en línea con diámetro de 4.0, 2.0 y 1.0 mm en un agitador electromagnético (Tamis-Bertel). Con operación de 10 min a 50 vibraciones por ciclo. Para la determinación del porcentaje del PDI o finos se utilizó la siguiente formula

$$PDI = \frac{M_{PDA}}{M_{PAA}} (100)$$

Donde:

PDI = Índice de durabilidad del pellet [%]

M_{PDA} = Masa de los pellets después de la agitación [Kg]

M_{PAA} = Masa de los pellets antes de la agitación [Kg]

Porcentaje de humedad

El contenido de humedad fue determinado antes y después del proceso de pelletizado. Se pesaron 5 g de pellets y colocados en una balanza termogravimétrica (Ohaus MB45) a 100°C por 10 min. El porcentaje de humedad fue calculado automáticamente por la termobalanza con base en la resta de los pesos húmedo y seco.

Densidad aparente

La densidad de los pellets fue determinada con base a la norma ASTM E873-8, con una modificación en el volumen de cálculo. Para ello, un recipiente de 1040 cm³ fue llenado con pellets y la densidad fue calculada con la formula siguiente

$$\rho_{ap} = \frac{M_{p+\epsilon}}{V_c}$$

Donde:

ρ_{ap} = densidad aparente [Kg/m^3]

$M_{p+\epsilon}$ = masa de los pellets + fracción hueca [Kg]

V_c = volumen de contenedor [m^3]

Cenizas

El contenido de cenizas se determinó con base en la norma ASTM E1755-01; el cuál se basa en la diferencia de peso de los pellets y de sus cenizas, obtenidas de su combustión en una mufla a 575°C durante tres horas.

Diámetro y longitud de pellets

Los pellets fueron medidos con un calibrador vernier para determinar su diámetro y longitud. Las mediciones se realizaron en los puntos en que la superficie del pellet fuera uniforme, evitando que las irregularidades de la superficie afectaran a los resultados.

Estadística

Debido a que los datos obtenidos son parámetros diferentes de caracterización, no pueden ser combinados o comparados, por lo que todos los experimentos para la caracterización de los pellets fueron realizados por triplicado. Se realizó la estadística descriptiva, que incluye el promedio con desviación estándar muestral con el programa de estadística SPSS (Statistics versión 25.0).

Resultados y discusión

Pelletizado

El proceso de pelletizado, tuvo un consumo energético de 5.33 kWh/Ton. En ese sentido, pelletizados de otros materiales lignocelulósicos, tuvieron gastos energéticos diferentes a los que se obtuvieron en el presente trabajo. Por ejemplo, en la literatura se han obtenido gastos energéticos de 23.3 kWh/Ton relacionados a un proceso de pelletizado de hojas de árboles [10], adicionalmente, los mismos autores obtuvieron pellets con diámetros de 15.3 mm, en contraste con los del presente trabajo que fueron de 4 mm. También se reportó un valor de 101 kWh/Ton en pelletizados de rastrojo de maíz [8]. Estas diferencias de gastos energéticos en el proceso de pelletizado se podrían deber a las concentraciones de lignina en cada biomasa, pues a altas temperaturas la lignina sufre una reestructuración química que forma un polímero que resulta ser adhesivo [9]. Aunque también se atribuye al diámetro de los orificios de la rejilla en la peletizadora, pues mientras más pequeño es mayor el esfuerzo realizado por el motor; siendo que si se busca un menor consumo lo recomendable es hacer pellets de mayor diámetro [10].



Figura 1. (A) Infección de muérdago *S. interruptus* en un árbol; (B) muérdago en proceso de secado; (C) Máquina peletizadora; (D) Pellets de muérdago.

Tabla 1. Parámetros estudiados en la elaboración de pellets de muérdago *S. interruptus*.

	Parámetro	Unidad	Valor
Pelletizado	T_p	[min]	1.85 ± 0.00
	T_p	[°C]	84.03 ± 8.24
	Consumo de energía específico	[KWh/Ton]	5.33 ± 0.00
Propiedades fisicoquímicas	Largo	[mm]	12.99 ± 3.20
	Diámetro	[mm]	4.14 ± 0.81
	Densidad aparente	[kg/m ³]	645.86 ± 8.47
	PDI	[% m/m]	96.93 ± 4.80
	H ₀	[% m/m]	9.75 ± 0.79
	H _p	[% m/m]	6.05 ± 0.06
	Cenizas	[% m/m]	4.97 ± 0.76

* t_p : [tiempo de pelletizado]; T_p : [temperatura de pelletizado]; H₀: [humedad del muérdago antes de pelletizar]; H_p: [humedad del pellet]; PDI: [índice de durabilidad del pellet].

Propiedades fisicoquímicas

Los pellets obtenidos de muérdago tienen un diámetro de 4.1 mm y longitud alrededor de 13 mm, con 6.05% de humedad, y PDI de 96.93% (Figura 2). Estos parámetros obtenidos, son muy similares a los pellets elaborados de paja de algodón (96%) [11], o pellets de residuos del árbol de cedro blanco (95%) y pellets elaborados de pino blanco (97%) [12]. El contenido de humedad está relacionado con la calidad de los pellets, ya que la humedad puede ser visible en la superficie de estos, cuando esta excede más del 18%. Lo deseable es obtener pellets sin grietas ni fisuras como los obtenidos a partir de las podas de *S. interruptus*, pues comprometen directamente a la resistencia mecánica del pellet y los vuelven quebradizos, blandos y promueven el crecimiento de hongos [13].

Su densidad aparente de los pellets de *S. interruptus* fue de 645.8 Kg/m³ (Tabla 1), superior a la reportada para otros pellets obtenidos de residuos agroindustriales con promedios de 550 Kg/m³. Por ejemplo, pellets elaborados con residuos de olivo presentaron una densidad de 521 Kg/m³ [14], paja de trigo (560 Kg/m³) [15] y rastrojo de maíz (550 Kg/m³) [16]. Estos datos son reveladores, ya que tener una densidad mayor, genera una gran ventaja, pues la densidad aparente atribuye a la densidad energética de cada tipo de pellet, ya que es directamente proporcional al FVI (índice de valor del combustible) que, es una forma de representar qué tan eficiente es un combustible [7].

Los pellets de *S. interruptus* contienen 4.9% de cenizas, contenidos de cenizas menores a pellets reportados de diferente material lignocelulósico con promedios de cenizas de 5.6% [17], pellets elaborados con mezclas de madera de diferentes residuos sólidos de plantas (6.85%) [18]. Un contenido mínimo o bajo de cenizas, ya que las cenizas equivalen a toda la materia inorgánica de la que no puede obtenerse más energía; y entre más cenizas menor capacidad de combustión, de esta forma los pellets obtenidos de *S. interruptus* disponen de una ventaja, ya que contienen valores menores en su concentración de cenizas.

Trabajo a futuro

Se continuará con la caracterización de pellets de biomasa ya que se necesitan tener diferentes parámetros de caracterización, desde su elaboración, consumo energético, dureza y firmeza. Además, se llevarán a cabo análisis de contaminantes derivado de la combustión, y un análisis económico para conocer la viabilidad de la producción y venta en mercados relacionados a energías renovables.

Conclusión

Mediante la caracterización de los pellets derivados de podas de muérdago *S. interruptus*, se demuestra su potencial como combustible energético, obteniendo propiedades fisicoquímicas similares o mejores a las de otros pellets hechos de residuos lignocelulósicos. El uso de pellets energéticos podría otorgar un valor agregado al residuo de las podas de muérdago, que podrían ser muy utilizados en calderas, centrales termoeléctricas o, sistemas de calefacción en invernaderos, y en estufas de cocinas de grupos alejados y vulnerables.

Agradecimientos

Agradecemos al Arquitecto Antonio Abúndez Chávez fundador de la asociación “Mezquite sin Muérdago A. C.” por su apoyo y colaboración en las colectas del muérdago utilizado y realizar la noble labor de rescatar al arbolado urbano de la plaga de muérdago en la ciudad de León. Así como, al Instituto de Innovación, Ciencia y Emprendimiento para la Competitividad del Estado de Guanajuato (IDEA-GTO) por el apoyo financiero (proyecto: IDEAGTO/CONV/044/2021) para la realización de este trabajo.

Referencias

- [1] Tollefson, J. Scientists raise alarm over “dangerously fast” growth in atmospheric methane. *Nature*. DOI: 10.1038/d41586-022-00312-2. 2022.
- [2] IEA. World Energy Balances: Overview. *IEA, Paris*. Recuperado el 01 de agosto del 2022, de <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>.
- [3] Goh, C. S., Junginger, M., Bradley, D., Hektor, B., Wild, M., Deutmeyer, M., ... & Bradburn, K. Low cost, long distance biomass supply chains. *IEA Bioenergy*. Vol. 40. 2013.
- [4] Tauro, R., García, C. A., Skutsch, M., & Maser, O. The potential for sustainable biomass pellets in Mexico: An analysis of energy potential, logistic costs, and market demand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 380-389. 2018.
- [5] Fernández-Aparicio, M., Delavault, P., & Timko, M. P. Management of infection by parasitic weeds: A review. *Plants*, vol. 9, p 1184. 2020.
- [6] Cházaro Basáñez, M. D. J., Oliva Rivera, H., Ramón Farías, F., & Vázquez-García, J. A. *Cladocolea oligantha* (Loranthaceae) un nuevo registro para Veracruz, México, y datos generales sobre este taxón. *Polibotánica*, vol. 20, pp. 1-15. 2005.
- [7] Neacsu, A., & Gheorghe, D. Characterization of biomass renewable energy resources from some perennial species. *Revue Roumaine de Chimie*, vol. 66(4), pp. 321-329.
- [8] Jackson J, Turner A, Mark T, Montross M. Densification of biomass using a pilot scale flat ring roller pellet mill. *Fuel Process Technol*, vol. 148, pp. 43–9. 2021. 2016.
- [9] Bedia, J., Rosas, J., Marqués, M., Gerrero, O., Ruiz, L., Rodriguez, J., & Cordero, T. Materiales de carbono a partir de lignina. *Boletín del Grupo Español del Carbón (GEC)*, vol. 12, pp. 2-8. 2009.
- [10] Pradhan, P., Mahajani, S. M., & Arora, A. Pilot scale production of fuel pellets from waste biomass leaves: Effect of milling size on pelletization process and pellet quality. *Fuel*, vol. 285, 119145. 2021.
- [11] Yilmaz, H., Topakci, M., Karayel, D., & Çanakci, M. Comparison of the physical properties of cotton and sesame stalk pellets produced at different moisture contents and combustion of the finest pellets. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, pp. 1-19. 2020.
- [12] Pokhrel, G., Han, Y., & Gardner, D. J. Comparative study of the properties of wood flour and wood pellets manufactured from secondary processing mill residues. *Polymers*, vol. 13(15), pp. 2487. 2021.
- [13] Pradhan, P., Mahajani, S. M., & Arora, A. Production and utilization of fuel pellets from biomass: A review. *Fuel Processing Technology*, 181, 215-232. 2018
- [14] Kocer, A., & Kurklu, A. Production of pellets from pruning residues and determination of pelleting physical properties. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, pp. 1-13. 2020.
- [15] Azocar, L., Hermosilla, N., Gay, A., Rocha, S., Díaz, J., & Jara, P. Brown pellet production using wheat straw from southern cities in Chile. *Fuel*, vol. 237, pp 823-832. 2019.
- [16] Zhu, Y., Si, Y., Wang, X., Zhang, W., Shao, J., Yang, H., & Chen, H. Characterization of hydrochar pellets from hydrothermal carbonization of agricultural residues. *Energy & Fuels*, vol. 32(11), pp. 11538-11546. 2018.

- [17] Santana, D. A. R., Scatolino, M. V., Lima, M. D. R., de Oliveira Barros Junior, U., Garcia, D. P., Andrade, C. R. & de Paula Protásio, T. Pelletizing of lignocellulosic wastes as an environmentally friendly solution for the energy supply: insights on the properties of pellets from Brazilian biomasses. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(9), 11598-11617. 2021.
- [18] Sukarta, I. N., Sastrawidana, I. D. K., & Ayuni, N. P. S. Proximate analysis and calorific value of pellets in biosolid combined with wood waste biomass. *Journal of Ecological Engineering*, 19(3). 2018

Hidrocarbonización de RC y RSOU como pretratamiento para la generación de biocombustible mediante digestión anaerobia

K. Arias Guevara^a, N. A. Vallejo-Cantú^{*a}, A. Alvarado-Lassman^a, E. S. Rosas-Mendoza^b, J. M. Méndez-Contreras^a

^aDivisión de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, Oriente 9 No. 852 Colonia E. Zapata Orizaba, Veracruz. norma.vc@orizaba.tecnm.mx.

^bCONACYT-Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9 No. 852 Colonia E. Zapata, Orizaba, Veracruz.

Ingeniería Química

Resumen

En México se generan residuos sólidos orgánicos urbanos (RSOU) en un promedio de 56,427 ton/d [1], en Veracruz se destinan 40,000 ton/año de cítricos para la fabricación de jugos generando el 30 % de residuos cítricos RC [2], ambos residuos forma parte de la biomasa residual que está constituida por compuestos lignocelulósicos. Para darle valor agregado a estos residuos se aplicó un pretratamiento termoquímico consistente en carbonización hidrotérmica (HTC, por sus siglas en inglés) permitiendo disminuir los efectos causados por estos residuos al medio ambiente.

En este trabajo se realizó el proceso de HTC a temperaturas de 180 y 200 °C con diferentes tiempos de residencia. Los hidrochar provenientes de RSOU a 180 °C contienen 13 % ST, 91 % SV y 80 % Humedad, mientras que los hidrochar de los RC mostraron valores de 16 % ST, 71 % SV y 83 % Humedad. Adicionalmente, los hidrochar fueron analizados mediante espectroscopia infrarroja, análisis elemental, SEM (microscopía electrónica de barrido) y UV-vis para conocer su estructura y composición. Posteriormente los hidrochar obtenidos se sometieron a pruebas de metanización en reactores batch para verificar si existe una mejora en la producción de biogás con respecto a los residuos con pretratamiento

Durante las cinéticas de metanización, la producción de biogás fue favorable cuando se empleó el hidrochar y el bioaceite de ambos residuos, sin embargo la mejor cinética de metanización se dio bajo las condiciones de 180 °C durante 2 h para el residuo cítrico.

Palabras claves: CHT, Hidrochar, espectroscopia, Digestión anaerobia.

Abstract

In Mexico, an average of 56,427 tons/day of the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) are generated [1]; in Veracruz, 40,000 tons/year of citrus fruit are used for juice production, generating 30% of citrus waste (CW) [2]; both wastes are part of the residual biomass that is made up of lignocellulosic compounds. In order to give added value to these residues, a thermochemical pretreatment consisting of hydrothermal carbonization (HTC) was applied to reduce the effects caused by these residues on the environment.

In this work, the HTC process was carried out at temperatures of 180 and 200 °C with different residence times. Hydrochar from RSOU at 180 °C contained 13 % TS, 91 % VS and 80 % moisture, while hydrochar from RC showed values of 16 % TS, 71 % VS and 83 % moisture. Additionally, the hydrochar were analyzed by infrared spectroscopy, elemental analysis, scanning electron microscopy (SEM) and UV-vis to know their structure and composition

During the methanization kinetics, biogas production was favorable when hydrochar and bio-oil from both wastes were used; however, the best methanization kinetics occurred under the conditions of 180 °C for 2 h for the citrus waste.

Key words: HTC, Hydrochar, Spectroscopy, anaerobic digestion

Introducción

El uso de las energías renovables forma parte de la estrategia energética del país con una participación creciente, de las cuales este trabajo de investigación se centra en la biomasa residual proveniente de un recurso vegetal, como lo son los residuos cítricos que en su estructura contienen agua del 75 al 85 % p/p en promedio, monosacáridos y disacáridos como la glucosa, fructosa y sacarosa del 6 al 8 % p/p en promedio, polisacáridos como pectina, celulosa,

y hemicelulosa del 1.5 al 3 % p/p en promedio [3]. Por otra parte, los RSOU son compuestos o derivados de materia viva, las cuales se descomponen y pueden degradarse sin embargo este proceso suele ser tardado ya que en su estructura se encuentran cadenas de lignocelulosa por lo que presentan una fuerte resistencia a la degradación química y microbiana, funcionando como una barrera [4]. Provocando de un fuerte impacto en la contaminación atmosférica, propagación de plagas y agentes infecciosos.

Para romper los enlaces lignocelulósicos se empleó un pretratamiento termoquímico como la carbonización hidrotérmica [5], que transforma la biomasa con alto contenido de humedad operando en un rango de temperaturas de 180 a 250 °C; de este proceso se obtuvieron tres productos, uno en fase gaseosa que está constituido por CO₂ y H₂, el segundo en fase sólida denominado hidrochar con una estructura formada por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, presentando propiedades que puede ser aplicables en la remediación de suelos, como carbón activado, potenciador de la metanización y como biocombustible en co-procesamiento, el tercer producto en fase líquida es conocido como bioaceite que está compuesto por ácido láctico, ácido fórmico y azúcares sin embargo, también contiene inhibidores como fenoles, furfural y furanos que pueden llegar a afectar a algunos procesos.

La Digestión Anaerobia (DA) es un proceso en el cual se transforma la materia orgánica en un biocombustible por medio de microorganismos, sin embargo puede presentar algunas deficiencias en la etapa de metanización por consiguiente se debe cuidar la estabilidad de los factores para obtener un valor alto del potencial bioquímico de metanización el cual indica el porcentaje de producción de biogás y que al mismo tiempo dependerá de la biomasa que se suministre, para conocer la producción de biogás se utilizó el potencial bioquímico de metanización (BMP, por sus siglas en inglés) como una forma de medición de biodegradabilidad de los residuos orgánicos (sustrato) ayudando a determinar el valor experimental de metano [6].

El objetivo de este trabajo consistió en aprovechar los residuos cítricos y los residuos sólidos orgánicos urbanos aplicando la carbonización hidrotérmica para la generación de un biocombustible a través de la digestión anaerobia.

Metodología

Recolección y adecuación de los residuos

Se recolectaron una vez por semana los residuos cítricos y los residuos sólidos orgánicos urbanos en el mercado Emiliano Zapata ubicado en la ciudad de Orizaba, los RSOU se transportaron en un contenedor de 220 L, se realizó la separación de los residuos orgánicos, inorgánicos y follaje, para los RC se recolectaron en contenedores de 2 kg que corresponde a naranja, limón y toronja fueron obtenidos sin contaminantes por lo que no hubo necesidad de hacer separación, se hizo la reducción del tamaño y posteriormente fueron triturados procediendo con la separación de la fase sólido-líquido por centrifugación durante 10 min, de la fase sólida se tomaron aproximadamente 500 g, se trasladaron al laboratorio de Ingeniería Ambiental I de la institución para realizar su caracterización y obtención de hidrochar.

Carbonización hidrotérmica

La caracterización de los RC y RSOU se hizo a través de los parámetros fisicoquímicos de pH de acuerdo con la norma mexicana NMX-AA-013-SCFI-2006 residuos sólidos, determinación de pH, % ST empleando Método gravimétrico 2540 B SM Standard Methods y % SV, Método gravimétrico 2540 E SM de Standard Methods, para el proceso de carbonización hidrotérmica se utilizó un reactor Modelo CF-1, con tapa atornillada, con interior de acero inoxidable con capacidad de 500 mil, el cual cuenta con termopar y manómetro. En el reactor se cargaron 350 g de residuo y 350 g de agua (relación 50:50) cada residuo por separado, se calentó el reactor hasta alcanzar la temperatura establecida y se mantuvo por el tiempo definido a través de un diseño bifactorial con doble replica para ambos residuos con las condiciones de temperatura de 180 y 200 ° C y tiempos de residencia de 1, 2 y 3 h.

Análisis fisicoquímico y espectroscopia del hidrochar

Posterior a la HTC se obtuvieron dos productos; hidrochar y bioaceite, se separó la fase solido-liquido mediante filtración y se procedió a realizar la caracterización del hidrochar bajo la determinación de pH, % ST, % SV, se realizaron mediante las normas mexicanas mencionan anteriormente, mientras que el % humedad Se realizó la determinación bajo el método propuesto por la norma mexicana NMX-AA-1984 y % cenizas. Como parte de la caracterización del hidrochar se realizaron pruebas de espectroscopia infrarroja, UV-vis y microscopia electrónica de barrido (SEM) para conocer su estructura y composición química, estos estudios fueron realizados en el Tecnológico Nacional de México Campus Querétaro mediante los equipos espectrofotómetro infrarrojo, Espectrómetro Bruker Tensor 37 con una resolución de 1 cm⁻¹ Modo ATR, Espectrofotómetro Ultravioleta-Visible

HACH DR 5000. Rango 200-900 nm. y microscopía electrónica de barrido: JEOL JSM 5900 with an operation voltage of 20 KV.

Adicionalmente se realizó un análisis elemental utilizando un micro analizador elemental CHN Perkin Elmer modelo 2400, se aplicó tanto al residuo fresco como al hidrochar mediante el método de Dumas.

En paralelo se caracterizó al bioaceite para conocer sus características fisicoquímicas aplicando las determinaciones de % sólidos totales, sólidos volátiles, pH y DQO se realizó al margen del Método 5220 D Standard Methods.

Para llevar a cabo la digestión anaerobia fue necesario realizar análisis fisicoquímicos como % ST, % SV, pH y DQO a los dos diferentes sustratos e inóculo, con los resultados obtenidos se realizó la relación inóculo-sustrato 1:2 [7].

Digestión anaerobia

Con base a los cálculos se procedió al llenado de los recipientes con la mezcla de inóculo, hidrochar y bioaceite, se usaron tapones de butilo y tapa de aluminio para el sellado de los recipientes para evitar fugas y mantener el ambiente anaerobio, paralelamente se realizaron las cinéticas de metanización bajo el mismo procedimiento con la diferencia de que se usó inóculo y residuo fresco, se realizó monitoreo y cuantificación cada tercer día de la producción de biogás en los biodigestores, para determinar la composición del biogás se utilizó un cromatógrafo de gases Buck 310, utilizando Helio como gas de arrastre y se tomaron muestra de las cinéticas para conocer el avance de la biodegradabilidad de los residuos, el hidrochar y el bioaceite, ésta caracterización se realizó mediante parámetros fisicoquímicos.

Resultados

De los residuos previamente acondicionados se obtuvo 1 kg de residuo sólido húmedo, se tomaron 500 g de ambos residuos para realizar la HTC y los análisis fisicoquímicos en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental I de la institución.

Los resultados de la caracterización de los residuos fueron los siguientes: para los RC fueron 11 % ST, 87 %SV, 87 % humedad y de los RSOU 17 % ST, 84 %SV, 84 % humedad. De la HTC se obtuvieron dos productos; hidrochar y bioaceite como se observa en la Figura 1.



Figura 1. hidrochar-bioaceite de RC

A los hidrochar obtenidos bajo las condiciones de temperatura de 180 y 200 °C a diferentes tiempos de residencia 1,2 y 3 h, se les realizaron análisis fisicoquímicos, los resultados mostraron que el pH se ve afectado por el aumento de la temperatura, en tanto que el valor de % SV disminuye cuanto se aplica mayor tiempo de residencia lo que posiblemente se debe por la presencia de materia orgánica en tiempos cortos de residencia.

En cuanto al análisis estructural aplicado al hidrochar obtenido de los RC y de los RSOU por medio de espectroscopia infrarroja (IR) se identificaron grupos funcionales a través de las bandas tanto en la intensidad como en frecuencia como por ejemplo en el rango 3000 cm^{-1} hay enlaces de metilo, en el rango de 2300 a 2100 existen enlaces de CH_2 asimétricos, como se muestra en la Figura 2 en cual se pueden observar los picos en los números de onda de 3000 y 2200 indicándonos la presencia de los enlaces antes mencionados [8].

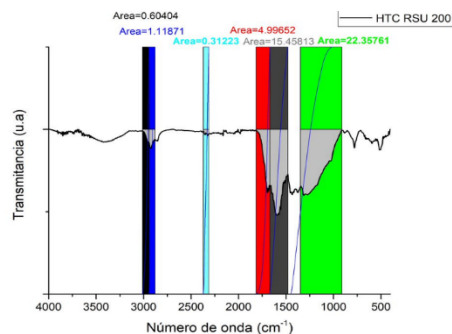


Figura 2. IR de hidrochar de RSOU a 200 °C

En relación a la caracterización a través de análisis de microscopía electrónica de Barrido (SEM, por sus siglas en inglés) en las micrografías obtenidas de hidrochar de RC a 200 °C como se muestra en la Figura 3 (a) se observa la estructura porosa que se forma durante el proceso de HTC, la porosidad del hidrochar es fundamental para cumplir como un absorbente, mientras que en la Figura 3 (b) se observa la presencia de micro esferas de carbono que se forman conforme a la temperatura que se le aplique, por ejemplo a mayor temperatura durante la HTC se obtendrá mayor número de micro esferas y de mayor diámetro [9].

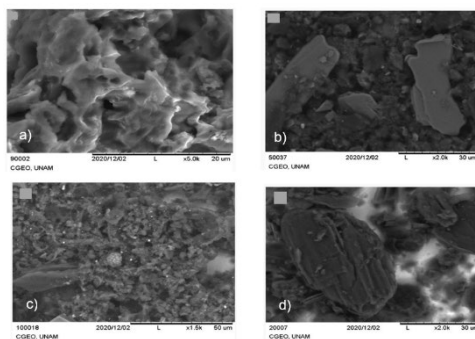


Figura 3. Micrografías de hidrochar de RC

En otras micrografías de hidrochar de RC a 180 °C Figura 3 (c) se observó la presencia de una partícula de celulosa, esto se debe a que proviene de biomasa lignocelulosa, también se tiene una estructura fibrosa que depende del tipo de residuo usado, como se observa las fibras son bien marcadas y definidas Figura 3 (d).

Con respecto a los resultados de espectroscopia UV-vis existen picos no definidos, esto se debe al tipo de biomasa que se utilizó para la HTC, por otro lado, también se observan los enlaces C_{sp2} y C_{sp3} , los cuales son enlaces característicos de un carbón convencional.

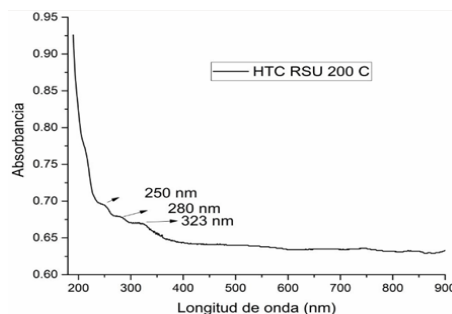


Figura 4. UV-vis de Hidrochar de RSOU a 200 °C

Los resultados del análisis elemental que se muestran en la Tabla 1 indican que todas las muestras de hidrochar presentan cierto contenido de carbono y una disminución significativa en el contenido de oxígeno.

Tabla 1. Resultados del análisis elemental de los productos

Producto	C %	H %	N %	O %
RC	44.77	5.46	1.15	34.69
RSOU	47.42	6.57	2.28	35.24
HRSOU180-1	50.51	6.47	2.05	23.58
HRC180-1	46.86	5.67	1.35	8.37

De los resultados del análisis fisicoquímico del bioaceite, el pH si se ve afectado con tendencia a incrementarse hasta 4.4 por la formación de azúcares durante la HTC al igual que el parámetro de % SV aumenta para ambos hidrochar a las mismas condiciones de 200 durante 2 h.

Con base a los cálculos y datos de los análisis fisicoquímicos del inóculo-sustratos, se realizaron las pruebas de biodegradabilidad anaerobia, una primera etapa se mezclaron los residuos frescos de RSOU con inóculo, incorporándolos a los biorreactores etiquetados como RSOU-1, RSOU-2 y RSOU-3. paralelamente se realizó la mezcla de hidrochar y bioaceite de los RSOU en condiciones de 180 °C con los diferentes tiempos de residencia y se incorporó el inóculo, se ajustó el pH, se etiquetaron como RSOU1-180-1, RSOU2-180-2 y RSOU3-180-3 y se aforaron todos los ensayos a un volumen de 200 mL y se sellaron los biorreactores.

Durante los 20 días de duración de la prueba, se realizaron muestreos cada tercer día para cuantificar la producción de biogás y se tomaron 3 mL de muestra para determinar la composición del biogás. Con los resultados obtenidos del muestreo de biogás se realizó el cálculo de la producción acumulada de metano. En la Figura 5 se muestran los resultados para las pruebas con RSOU frescos y sus respectivos residuos a los que se aplicó la HTC. Se puede observar que la mayor producción de metano se logró con los residuos a los que se aplicó la carbonización en condiciones de 180 °C durante 2 h, además de que se logró un incremento del 34.5% de metano producido en la cinética del HTC+bioaceite a diferencia de las cinéticas de 180 °C a 1 y 3 h en las que se observa una pequeña diferencia en la producción de metano de 7.24 y 8.04 % respectivamente.

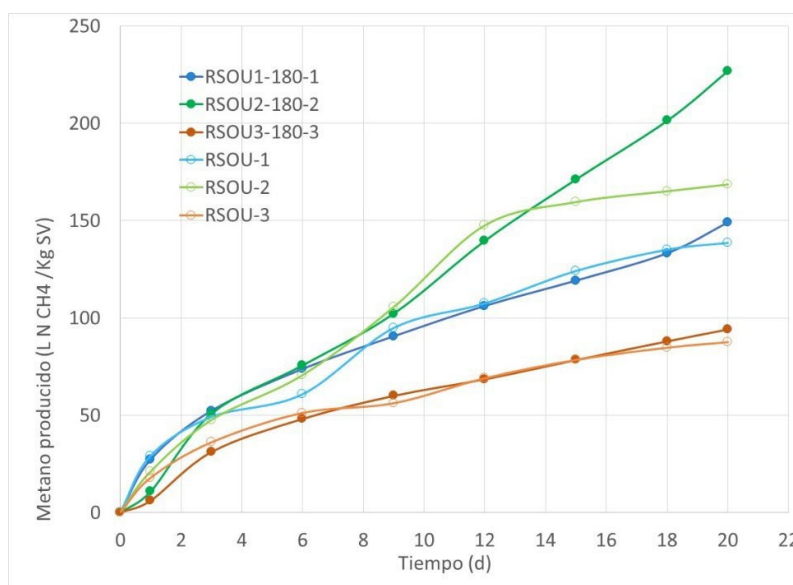


Figura 5. Producción acumulada de metano para los RSOU

Para conocer la composición del biogás de las pruebas de biodegradabilidad anaerobia de cada muestra, el biogás fue analizado mediante cromatografía de gases. Los valores obtenidos para las cinéticas con las condiciones 180-1 fueron 55.7 % de metano y 44.3 % de dióxido de carbono, para la cinética 180-2 se obtuvo 55.6 % de metano y 44.4 % CO₂ y por último para la condición de 180-3 se obtuvo 62.7 % de metano y 37.3 % de CO₂.

Con los resultados del análisis de DQO se calculó el porcentaje de remoción más alto corresponde a las cinéticas de hidrochar-bioaceite lo que indica que la degradación de la materia orgánica con el pretratamiento de HTC es mayor cuando se compara con las cinéticas de residuos frescos.

Al igual que para los RSOU también se realizaron las pruebas de biodegradabilidad anaerobia para los residuos cítricos (RC). En la Figura 6 se muestran los resultados obtenidos de la producción de biogás provenientes de las cinéticas de la mezcla de hidrochar y bioaceite obtenido en condiciones de 180 °C a diferentes tiempos de residencia, la mejor cinética en cuanto a producción fue la obtenida a 180-2, a diferencia de los RSOU, los RC pretratados mediante la carbonización hidrotérmica, presentan en todos los casos incrementos importantes en la producción de metano en comparación con los residuos frescos. El mejor de los casos corresponde a los RC sometidos a carbonización a 180 °C y 3 h con un 99.2 % de incremento en la producción de metano.

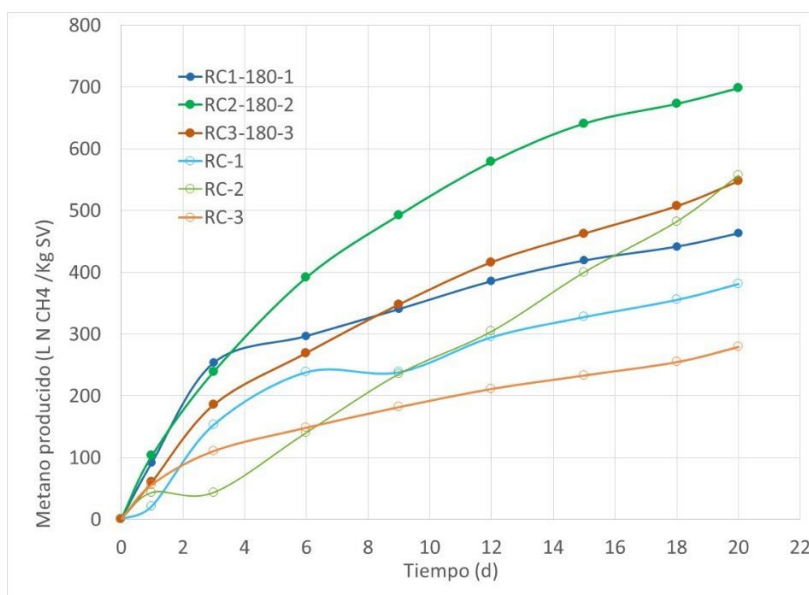


Figura 6. Producción acumulada de metano para los RC

En la Figura 7 se muestra la composición del biogás de la cinética de hidrochar-bioaceite, desde el inicio de la DA presenta un volumen significativo de metano en las tres cinéticas, sin embargo, la cinética 180-1 y 180-2 son las mejores en cuanto a la cantidad de metano producido.

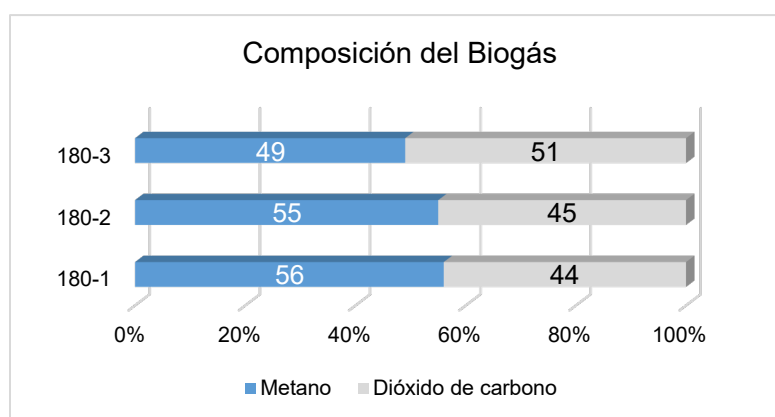


Figura 7. Composición del Biogás de hidrochar-bioaceite de RC

Trabajos futuro

Para trabajos futuros se recomienda ajustar el pH de los residuos antes de realizar la HTC ya que el pH alcalino favorece la formación del hidrochar, al realizar análisis y cálculos de los ácidos grasos volátiles a los hidrochar

obtenidos se confirma que los AGV durante la digestión anaerobia favorecen la producción de biogás y por último sería conveniente trabajar las cinéticas de metanización con los hidrochar y bioaceite obtenidos a 200 °C a diferentes tiempos de retención.

Conclusiones

En cuanto al hidrochar obtenido, presenta una mejor carbonización en los tiempos de retención de 2-3 h y de acuerdo a la producción del hidrochar de RC se obtiene mayor cantidad a partir de las 2 h de tiempo de retención con temperatura de 180 °C, esto se debe a su estructura fibrosa.

Con base a las experimentaciones y resultados obtenidos de este trabajo de investigación, se concluye que la obtención de hidrochar y bioaceite a partir de los RC y RSOU es viable, ya que se genera un hidrochar con propiedades similares a las de un carbón de mina y se obtiene un bioaceite rico en propiedades combustibles, durante la HTC se aplican variaciones de temperatura y tiempo de residencia, se observó que estos afectan la estructura y propiedades de los mismos.

Acerca de la producción de biogás durante la DA se obtuvieron resultados importantes para las cinéticas de hidrochar-bioaceite de cada uno de los residuos, lo que confirma que son más fáciles de degradar estos residuos cuando se les aplica un pretratamiento como la HTC, ya que las cinéticas de residuos fresco e inóculo presentaron una producción baja e inestable de biogás.

La mejor condición para la producción biogás fueron de los hidrochar y bioaceite obtenido a 180 °C durante 2 h (180-2) de ambos residuos.

Agradecimientos

Al Coveicydet por el financiamiento a través del proyecto 15 1447/2021, al Conacyt por la beca otorgada a la estudiante de maestría.

Referencias

1. SEMARNAT, "Diagnostico básico para la gestión de residuos", Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020.
2. Solleiro, J.L. y O. Mejía, "produccion de citricos e inovacion: una oportunidad de inovacion para Mexico" Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2019.
3. Rosas-Mendoza, E. S., J.M. Méndez-Contreras, A. Martínez-Sibaja, N.A. Vallejo-Cantú y A. Alvarado-Lassman. "Anaerobic digestion of citrus industry effluents using an Anaerobic Hybrid Reactor". *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol.20, no.7, pp. 1387–1397, 2018.
4. Vasco-Correa, J., X. Ge y Y. Li. "Biological Pretreatment of Lignocellulosic Biomass". *Biomass Fractionation Technologies for a Lignocellulosic Feedstock Based Biorefinery*, pp. 561–585, 2016.
5. Basso, D., F. Patuzzi, D. Castello, M. Baratieri, C. Rada, E. Weiss-hortala, L. Fiori, D. Basso, F. Patuzzi, D. Castello, M. Baratieri, y E. Rada. "Agro-industrial waste to solid biofuel through hydrothermal carbonization", HAL Id: hal-01609111 carbonization, 2018.
6. Gómez, M.A. "Determinación del Potencial Bioquímico de Metano y del Potencial de Suministro Eléctrico Neto de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos de Mercados de Abasto del Distrito de Arequipa", Tesis Doctoral, Universidad Católica de San Pablo. 2017.
7. Holliger, C., M. Alvez, I. Angelidaki y A. Pauss. "Towards a standardization of biomethane potential tests", *Water Science y Technology*, vol.74, pp. 2515-2522, 2020.
8. Wilk, M. y M. Sliz, "A comprehensive investigation of hydrothermal carbonization: Energy potential of hidrochar derived from Virginia mallow", *ELSEVIER*, pp.942-950, 2020.
9. Córdoba-Fernández, C., "Desarrollo de adsorbentes de CO₂ sostenible a partir de residuos de la industria alimentaria" *Universidad de Oviedo*, 2021.
10. Fonseca, A.Y., S.S.C.Silva, B.A.Camargos, S.Q. Silva, H.J.L.Wandurraga, L.V.A.Gurgel y B.E.L.Baeta, "Influence of hidrothermal pretreatment conditions, typology of anaerobic digestion system and microbial profile in the production of volatile fatty acids from olive mill solid waste", *ELSEVIER*, pp. 2213-3437, 2021.

Evaluación del efecto de la adición de micronutrientes en algas *Chlorella spp* y *Spirulina maxima*

Solmaría Mandi Pérez-Guzmán¹, Eduardo Hernández-Aguilar², Alejandro Alvarado-Lassman¹, Juan Manuel Méndez-Contreras^{1*}

¹Instituto Tecnológico de Orizaba, Oriente 9 número 852 Colonia Emiliano Zapata. Orizaba, Veracruz. 94320. México.

²Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Prol. De Ote. 6 número 1009, Colonia Rafael Alvarado. Orizaba, Veracruz. 94340. México.

*juan.mc@orizaba.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En el presente trabajo se utilizaron las especies *Chlorella spp* y *Spirulina maxima* para el tratamiento del agua residual de origen avícola, sustrato rico en nutrientes para las microalgas. Se montaron cinéticas de crecimiento de 18 días para cada especie donde el residuo se aplicó en niveles bajo y medio y, a fin de evaluar si se potencia el metabolismo y crecimiento de las algas, a estas se les adicionó una dosis de micronutrientes compuesta por 4 metales pesados: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y ZnCl_2 . Se encontró que en la especie *Chlorella spp* la adición de micronutrientes favoreció la densidad celular y, por ende, la generación de biomasa, mientras que en la *Spirulina maxima* los micronutrientes no mejoraron la producción celular. Además, se encontró que las microalgas no se encargan de la remoción de la DQO, sino que se nutren del CO_2 , producto de las bacterias anaerobias.

Palabras clave: Microalgas, cinéticas, micronutrientes, crecimiento celular.

Abstract

In the present work, the species *Chlorella spp* and *Spirulina maxima* were used for the treatment of poultry wastewater, a substrate rich in nutrients for microalgae. 18 day growth kinetics were set up for each species where the residue was applied at low and medium levels and in order to evaluate if the metabolism and growth of the algae were enhanced, a dose of micronutrients composed of 4 heavy metals were added: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and ZnCl_2 . It was found in the *Chlorella spp* specie the addition of micronutrients favored cell density and the generation of biomass, while in *Spirulina maxima* micronutrients did not improve cell production. In addition, it was found that microalgae are not responsible for removing COD, but instead they feed on CO_2 a product of anaerobic bacteria.

Key words: Microalgae, kinetics, micronutrients, cellular growth.

Introducción

En la actualidad, debido al creciente problema de contaminación, es necesario encontrar métodos para el tratamiento de aguas residuales que sean inocuos con el medio ambiente. Usualmente se utilizan sistemas químicos, físicos y biológicos, pero los primeros dos tienen la desventaja de ser costosos, además de producir compuestos tóxicos durante o como resultantes del proceso [1], mientras que los sistemas biológicos son más rentables, eficientes y sustentables, ya que disminuyen o nulifican el potencial contaminante a los residuos, además de que la biomasa generada tiene diversas aplicaciones industriales [2]. Una de esas alternativas es la biorremediación, que es el uso de microorganismos para la remoción de compuestos tales como toxinas, xenobióticos, metales pesados, nutrientes, entre otros [3]. Las microalgas utilizadas como agentes descontaminantes ofrecen ventajas tales como operatividad sencilla, bajos costos, no producen contaminantes intermedios y absorben los metales pesados de las aguas residuales utilizándolos como nutrimentos para su crecimiento [4]. Una vez que las microalgas utilizan los residuos para nutrirse y desarrollarse, se pueden extraer las algas del medio de cultivo. Esta biomasa resultante es rica en contenido de pigmentos (clorofila, betacarotenos), enzimas (hidroxigenasa, anhidrasa carbónica, lipoxigenasa, nitrilasa, nitrogenasa, fosfatasa, acetil-coenzima A tiolasa) [5] azúcares y lípidos [6]. La biomasa algal tiene diversas aplicaciones, tales como

complemento alimenticio humano, suplemento forrajero, en la producción de papel, nutraceuticos, productos cosméticos naturistas, bioetanol, biodiesel, biochar, entre otras [7]. Se ha demostrado que las microalgas de especies *Chlorella*, *Nostoc*, *Spirulina*, *Scenedesmus* y *Chlamydomonas* son adecuadas para el tratamiento de efluentes [8].

El cultivo de microalgas requiere control en ciertos parámetros, tales como la temperatura del medio, la exposición a la luz y el pH. Además, para su desarrollo, las microalgas necesitan nutrientes simples como N, P y K, así como los micronutrientes B, Cu, Mn, Se, Mo, Co y V, y que son importantes para el crecimiento algal [9]. Las aguas residuales y los medios de cultivo para cada especie tienen entre sus componentes químicos los elementos Fe, Zn, Ca, Mg, Mn y Cu [10], que son benéficos para la biota de los ecosistemas acuáticos en concentraciones traza [11]. Es por ello que se ha optado por cultivar microalgas en dichos efluentes, ya que, con el consumo de C, N, P, y los micronutrientes mencionados, se promueve el crecimiento de las microalgas [11]. El uso de residuos acuosos como fuente de micronutrientes para las algas es una alternativa de tratamiento, ya que se logra la reducción de carga contaminante al metabolizar los elementos traza contenidos [12], produciendo biomasa microalgal con un alto contenido en micro y macronutrientes, vitaminas y ficocianinas [13]. En el presente trabajo se utilizaron algas de la especie *Chlorella spp.* Y *Spirulina maxima* y el objetivo fue analizar el efecto de la adición de micronutrientes en los cultivos algales en el tratamiento de aguas residuales de origen avícola.

Metodología

Recolección de la muestra

El agua residual avícola fue muestreada de una industria procesadora de aves ubicada en la región de Orizaba-Córdoba. Posteriormente se almacenó en el laboratorio de Ambiental II perteneciente a la División de Estudios de Posgrado del Instituto Tecnológico de Orizaba.

Microalga *Chlorella spp*

La muestra de microalga dulce de especie *Chlorella* se obtuvo del Centro de Estudios Técnicos del Mar (C.E.T. Mar 07) ubicado en Veracruz, donde se cultiva de forma continua en un área de nombre "cuarto húmedo", que se encuentra provisto de aire acondicionado, temperatura de $20^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y lámparas de luz fluorescente que brindan iluminación las 24 horas del día. Según el Culture Collection of Algae and Protozoa (CCAP), el medio de cultivo adecuado para el desarrollo de la *Chlorella spp* es el bold basal modificado con triple cantidad de nitrógeno y vitaminas (3N-BBM+V). Los reactivos para su preparación se listan en la Tabla 1.

Tabla 1. Reactivos para preparar medio Bold Basal

Componente	Cantidad para 1 L de solución stock	Cantidad por L de medio de cultivo	Concentración final en el medio
NaNO ₃	25 g	30 mL	8.82 mM
CaCl ₂ * 2 H ₂ O	2.5 g	10 mL	0.17 mM
MgSO ₄ *3 H ₂ O	7.5 g	10 mL	0.03 mM
K ₂ HPO ₄ * 3 H ₂ O	7.5 g	10 mL	0.43 mM
KH ₂ PO ₄	17.5 g	10 mL	1,29 mM
NaCl	2.5 g	10 mL	0.43 mM
Solución stock de metales o solución P-IV (UTEX)		6 mL	
Vitamina B ₁ (Tiamina)		1 mL	
Vitamina B ₁₂ (Cianocobalamina)		1 mL	

Microalga *Spirulina maxima*

La microalga de especie *Spirulina* se consiguió de la Colección Nacional de Cepas Microbianas y Cultivos Celulares del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV).

Para el cultivo adecuado de esta especie, el CINVESTAV recomienda utilizar el medio UTEX, que se prepara con los reactivos indicados en la Tabla 2.

Tabla 2. Reactivos para la preparación del medio Utex

Componente	Cantidad para 1 L
NaHCO ₃	16.8 g
K ₂ HPO ₄	0.5 g
NaNO ₃	2.5 g
K ₂ SO ₄	1 g
NaCl	1 g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.2 g
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.04 g
FeSO ₄ ·7H ₂ O	0.01 g
EDTA	0.08 g
Solución micronutrientes Chu	1 mL
Solución B metales traza	1 mL

Ambos medios utilizan solución de metales traza en su preparación. Los reactivos para prepararla se describen en la Tabla 3.

Tabla 3. Reactivos para la preparación de solución P-IV de metales traza

Componente	Cantidad para 1 L	Concentración final en el medio
Na ₂ EDTA	0.75 g	2 mM
FeCl ₃ * 6 H ₂ O	97.0 mg	0.36 mM
MnCl ₂ * 4H ₂ O	12.0 mg	0.21 mM
ZnCl ₂ * 6 H ₂ O	5.0 mg	0.037 mM
CoCl ₂ * 6 H ₂ O	2.0 mg	0.0084 mM
Na ₂ MoO ₄ * 2 H ₂ O	12.0 mg	0.017 mM

Condiciones generales de propagación

Para sembrar y propagar las microalgas de ambas especies se hicieron cinéticas de crecimiento celular en microfotobiorreactores de plástico de 1000 mL con volumen útil de 500 mL, los cuales se mantuvieron en operación por lotes por un periodo de 18 días con las condiciones de operación de temperatura, luz y aireación utilizadas en los trabajos de investigación desarrollados por Martínez-Romero *et al.* (2018) [15] y Caballero-García *et al.* (2019) [16], en donde se indica que la temperatura ambiente es idónea para la operación de los reactores. El flujo de aire aplicado mediante una bomba es suficiente para suministrar CO₂ y al mismo tiempo mantener en agitación a los microorganismos, la iluminación se llevó a cabo en periodos de 12 h de luz y sombra usando para este fin una lámpara LED de 20 W, de luz fría y de 2,500 lux de intensidad.

Determinación del efecto de los micronutrientes en el comportamiento de las microalgas para la remoción de compuestos orgánicos en las aguas residuales

Para que las microalgas se desarrollen de forma óptima, debe añadirse la dosis adecuada de nutrientes, ya que un desbalance podría afectar a los microorganismos, lo que se puede expresar en una disminución del crecimiento e incluso que el mismo se detenga. Los micronutrientes utilizados son CuSO₄·5H₂O, MnCl₂·4H₂O, NaMoO₄·2H₂O y ZnCl₂. Se establecieron las concentraciones indicadas por Ghafari *et al.* (2016) [17], la cual se desglosa en la Tabla 4. Además, se evaluó una cinética en blanco, sin adición de ningún tipo de nutriente, para comparar los resultados.

Tabla 4. Dosis de micronutrientes adecuadas para las microalgas

Dosis	Micronutriente (g)			
	ZnCl ₂	MnCl ₂	NaMoO ₄	CuSO ₄
I	0.005	0.00125	0.003	0.003

Esta dosis es subletal y favorece el crecimiento celular y el contenido lipídico de las microalgas. Las cantidades indicadas son para preparar medio litro de solución de cada uno de los micronutrientes.

El blanco y la dosis I de micronutrientes se evaluaron en dos niveles respecto a la carga orgánica, el bajo con 2.2312 g DQO/L y el medio de 2.789 g DQO/L.

A fin de evaluar el impacto de los micronutrientes en las cepas algales se monitorearán diversos parámetros en los biorreactores de forma diaria a lo largo del periodo comprendido para la cinética de crecimiento, los cuales se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Análisis diarios para las cinéticas

Parámetro	Metodología
pH	Electrométrico
Sólidos Totales y Sólidos Volátiles	Gravimétrico
DQO	Colorimétrico
Biomasa	Gravimétrico
Densidad celular	Espectrofotométrico

Para analizar el pH se utilizó un potenciómetro marca Jenway® modelo 3310, para los sólidos totales y biomasa se usó una estufa y para los volátiles se utilizó una mufla, en cuanto a la DQO se utilizó un baño seco marca Felisa® y para cuantificar la densidad celular se utilizó un espectrofotómetro marca Thermo Scientific® modelo Genesys 20.

Resultados y discusión

Efecto de los micronutrientes en las microalgas

Chlorella spp.

El primer parámetro analizado en cada uno de los reactores fue la DQO. Como se puede observar en la Figura 1, en los reactores adicionados con la dosis 1 de micronutrientes se presentó una tendencia a la disminución de la DQO, a diferencia del blanco, en el que se aprecia mayor cantidad de DQO durante todo el proceso. Por otro lado en la Figura 2 nuevamente se presenta una disminución de tal parámetro en la dosis 1 en los primeros días de proceso, pero en menor cantidad a comparación con los reactores con baja carga orgánica. Es importante mencionar que las microalgas no llevan a cabo el proceso de remoción de DQO en los residuos, sino las bacterias aerobias presentes en el efluente las cuales generan CO₂ el cual posteriormente es aprovechado en la fotosíntesis por la microalga [18].

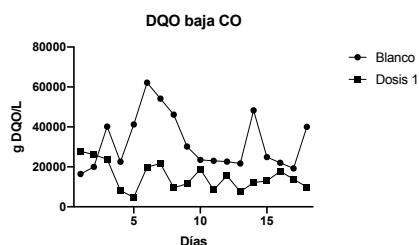


Figura 1 DQO en carga orgánica baja

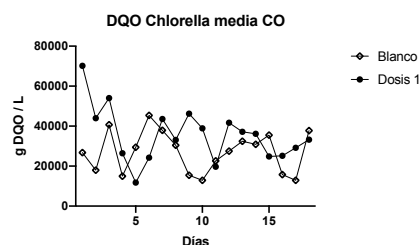


Figura 2 DQO en carga orgánica media

Para sólidos totales, en la Figura 3 se observa que hay una ligera disminución de sólidos totales aplicando la dosis 1, mientras que en la Figura 4 los sólidos permanecen muy similares tanto en el blanco como en la dosis 1. Los sólidos totales en los biorreactores se componen de la biomasa algal y los fragmentos sólidos provenientes del agua residual.

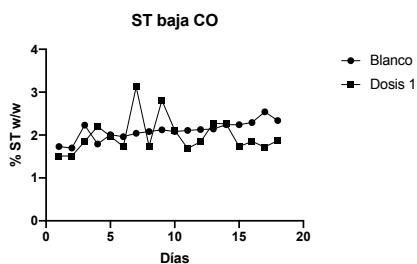


Figura 3. Sólidos totales en reactores con carga orgánica baja

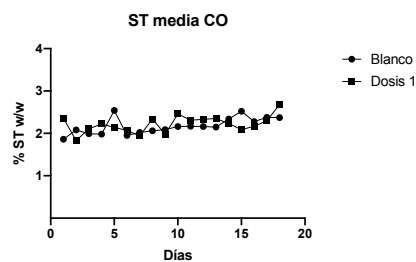


Figura 4. Sólidos totales en reactores con carga orgánica media

En los reactores blanco con carga orgánica baja los sólidos totales volátiles permanecieron constantes durante la cinética, mientras que en la dosis 1 se observa un incremento en este parámetro, como se observa en la Figura 5. Para la carga orgánica media, que se muestra en la Figura 6, en el blanco se aprecia una ligera disminución de sólidos totales volátiles, pero en la dosis 1 en los primeros días ocurre un descenso. Los sólidos totales volátiles corresponden a una fracción de la materia orgánica contenida en una muestra [19], por lo que es consistente que en la carga orgánica baja los reactores adicionados con micronutrientes tengan mayor cantidad de STV ya que se presentó mayor generación de biomasa algal.

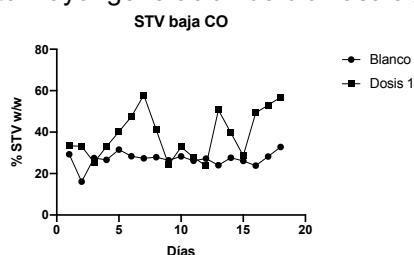


Figura 5. Sólidos totales volátiles en reactores con carga orgánica baja

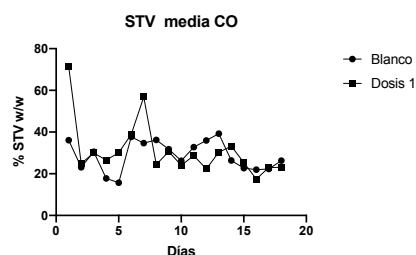


Figura 6. Sólidos totales volátiles en reactores con carga orgánica media

El pH en la carga orgánica baja es menor para el blanco, mientras que para la dosis 1 este parámetro disminuye a lo largo del tiempo de la cinética, como se observa en la Figura 7, mientras que en la Figura 8, que ilustra la carga orgánica media, el pH del blanco es un poco mayor y el de la dosis 1 muestra mayor tendencia a la acidez. La microalga de especie *Chlorella* crece de forma óptima en un medio con pH entre 7 y 8 [20]. La disminución de esta variable se debe al agua residual avícola agregada en los fotobiorreactores, que tiene un pH de 6.04.

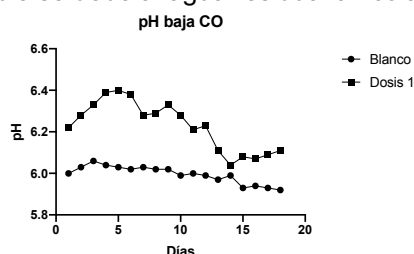


Figura 7. pH en reactores con carga orgánica baja

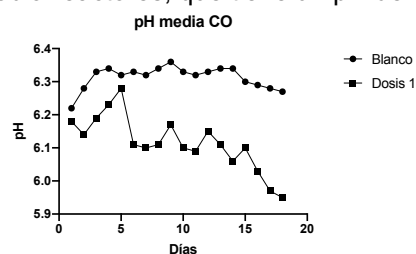


Figura 8. pH en reactores con carga orgánica media

La densidad celular presentó un aumento notorio en los reactores suplementados con micronutrientes para ambos niveles de carga orgánica, tal como se aprecia en las Figuras 9 y 10. Las soluciones de metales traza contribuyen a diversos procesos biológicos efectuados por organismos fotosintéticos, como el crecimiento celular [21].

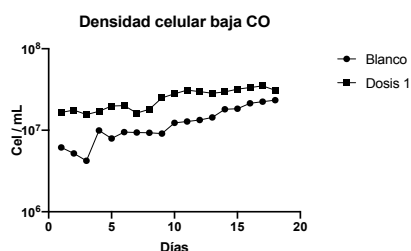


Figura 9. Densidad celular de *Chlorella spp* en reactores con carga orgánica baja

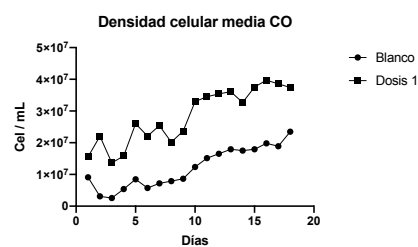


Figura 10. Densidad celular en reactores con carga orgánica media

Finalmente, en el último parámetro monitoreado en el alga *Chlorella spp* fue la biomasa. En la Figura 11 se puede advertir que en el blanco hay un crecimiento exponencial, mientras que en la dosis 1 el crecimiento en el día 18 va decayendo, por lo que los micronutrientes acortan el tiempo de vida de las algas en cargas orgánicas bajas, por otro lado, en la carga media, la biomasa generada en los reactores con micronutrientes es notablemente mayor que en el blanco (Figura 12), lo que concuerda con los resultados obtenidos en la densidad celular.

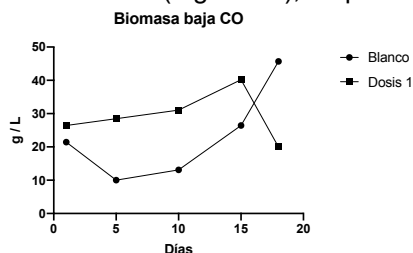


Figura 11. Biomasa de *Chlorella spp* en reactores con carga orgánica baja

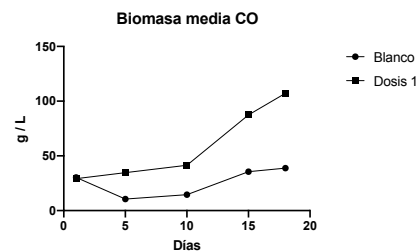


Figura 12. Biomasa en reactores con carga orgánica media

Spirulina maxima

En ambos niveles de carga orgánica la DQO disminuye en los reactores adicionados con la dosis 1 de micronutrientes, la diferencia estriba que en la carga orgánica baja (Figura 13) la DQO del blanco siempre es mayor que en la dosis 1, y en la carga media (Figura 14), el blanco tiene valores similares de DQO que la dosis 1. Con base en el argumento presentado en los resultados de DQO en los reactores de *Chlorella spp*, se puede establecer que existe una mayor cantidad de bacterias aerobias que degradan la materia orgánica en los cultivos de *Spirulina*.

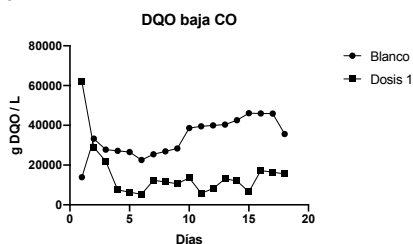


Figura 13. DQO en reactores con *Spirulina maxima* y carga orgánica baja

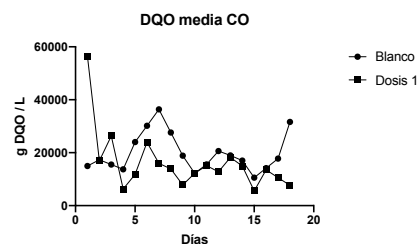


Figura 14. DQO para reactores con carga orgánica media

En el lote de reactores con carga orgánica baja y dosis 1 se presentó un aumento en los sólidos totales volátiles en el día 5 y posteriormente hubo una disminución que perduró a lo largo de la cinética, con valores similares a los obtenidos en el blanco (Figura 15). Para la carga media la cantidad de sólidos totales en la dosis 1 se minimizó, como se observa en la Figura 16.

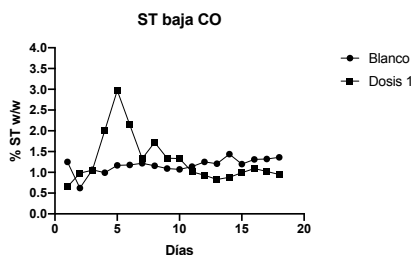


Figura 15. Sólidos totales en reactores de *Spirulina maxima* con carga orgánica baja

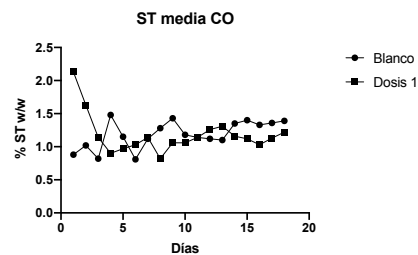


Figura 16. Sólidos totales en reactores con carga orgánica media

Los sólidos totales volátiles en la carga baja (Figura 17) disminuyen en los reactores suplementados, mientras que en la carga media, los STV permanecen en el mismo rango de valores en toda la cinética (Figura 18). Lo anterior concuerda con los resultados de DQO, que en la carga orgánica baja existe una disminución de materia orgánica en los primeros días de proceso.

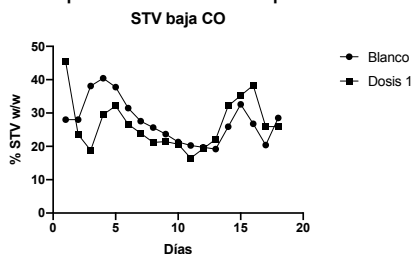


Figura 17. STV en reactores de *Spirulina maxima* con carga orgánica baja

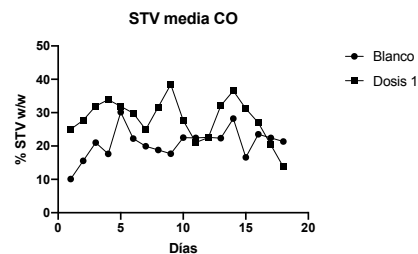


Figura 18. STV en reactores con carga orgánica media

Para el pH, en la Figura 19 se observa que en la dosis 1 este valor disminuye y para el blanco aumenta a lo largo del proceso, y en la carga orgánica media mostrada en la Figura 20 el pH aumenta en menor grado para el blanco y decremanta de forma más drástica en la dosis 1. Estas bajas en los valores de pH pueden deberse a la generación de CO₂ durante el proceso, ya que hay una relación entre estos dos factores: a mayor cantidad de dióxido de carbono, el valor de pH tenderá a disminuir [22], teniendo como base científica la Ley de Henry.

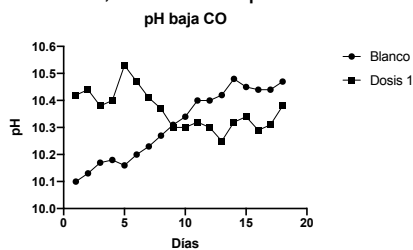


Figura 19. pH en reactores de *Spirulina maxima* con carga orgánica baja

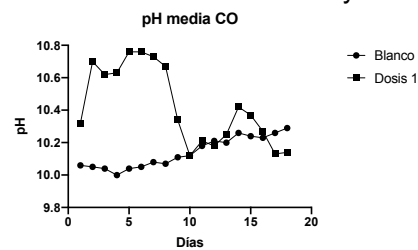


Figura 20. pH en reactores con carga orgánica media

En la densidad celular se presentó un fenómeno interesante. Los reactores adicionados con micronutrientes tuvieron menor producción de microorganismos, misma que, aunque aumentó a lo largo de la cinética (Figura 22), siempre presentó valores inferiores que en los reactores blanco para ambas cargas orgánicas, donde la cantidad de microorganismos algales producidos siempre fue mayor (Figura 21). Lo anterior puede deberse a que la especie *Spirulina* presenta mayor absorción de metales traza en medios con pH de 7 [23], y al someterla a un nivel mayor los micronutrientes no favorecen el crecimiento celular.

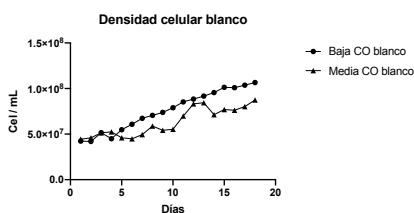


Figura 21. Densidad celular en reactores de *Spirulina maxima* con carga orgánica baja

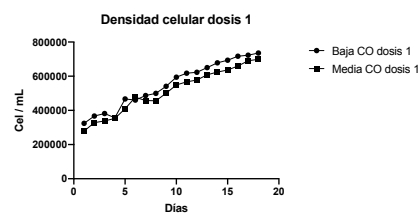


Figura 22. Densidad celular en reactores con carga orgánica media

La biomasa en ambas cargas orgánicas y en los blancos tiene el mismo comportamiento creciente los primeros 15 días y posteriormente se presenta una disminución de la misma. En la carga baja la dosis 1 propicia la producción de células microalgales (Figura 23), mientras que en la carga media la dosis no influye en generación de biomasa, como se aprecia en la Figura 24.

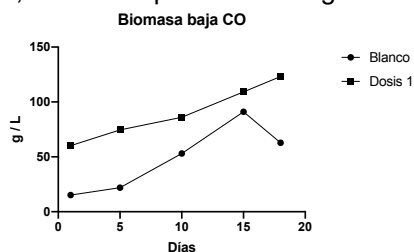


Figura 23. Generación de biomasa de especie en reactores con carga orgánica baja

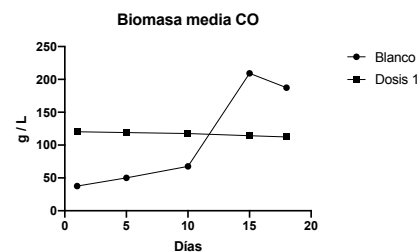


Figura 24. Generación de biomasa en reactores con carga orgánica media

Trabajo a futuro

Se sugiere ajustar las corridas cinéticas a cargas orgánicas altas, así como aumentar las dosis de soluciones de metales traza en ambas especies de microalgas a fin de comprobar la hipótesis de que los micronutrientes fomentan la generación de biomasa algal, así como potencian su capacidad de biorremediación de efluentes industriales.

Conclusiones

Se observó en la microalga de especie *Chlorella spp* que la adición de micronutrientes favorece la disminución del pH, la generación de biomasa, aumento de la densidad celular, pero no influye en la disminución de sólidos totales ni volátiles, mientras que añadir solución de metales traza en la cepa *Spirulina maxima* fomenta la generación de biomasa en cargas orgánicas bajas, a comparación de las cargas medias, en las que no influye en la producción celular. Los micronutrientes no estimulan la generación de células microalgales de *Spirulina* en ningún nivel de carga orgánica, en contraste con los blancos, que mostraron densidad celular superior. Por lo anterior se concluye que los micronutrientes favorecen el metabolismo de las microalgas de especie *Chlorella spp*.

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó con el financiamiento del Tecnológico Nacional de México correspondiente al proyecto número 14368.22-P.

Referencias

- [1] B. Koul, K. Sharma y M. P. Shah, Phycoremediation: A sustainable alternative in wastewater treatment (WWT) regime, *Environmental Technology and Innovation*, vol. 25, n° 1, 2022.

- [2] N. K. Arora, Bioremediation: a green approach for restoration of polluted systems, *Environmental Sustainability*, vol. 1, n° 1, pp. 305-318, 2018.
- [3] B. Koul y P. Taak, *Biotechnological Strategies for Effective Remediation of Polluted Soils*, Singapore: Springer Nature, 2018.
- [4] J. K. Bwapwa, A. T. Jaiyeola y R. Chetty, Bioremediation of acid mine drainage using algae strains: A review, *South African Journal of Chemical Engineering*, vol. 24, n° 1, pp. 62-70, 2017.
- [5] E. Hernández, C. Lobato-Benítez y C. A. Hernández, Algal enzymes, biotechnological potential uses: A review,» *Cymbella*, vol. 3, n° 1, pp. 1-15, 2017.
- [6] Q. Emparan, R. Harun y M. K. Danquah, Role of phycoremediation for nutrient removal from wastewaters: a review, *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 17, pp. 889-915, 2019.
- [7] M. I. Khan, J. H. Shin y J. D. Kim, The promising future of microalgae: current status, challenges and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed and other products, *Microbial Cell Factories*, vol. 17, n° 36, pp. 2-21, 2018.
- [8] G. K. Sharma y S. A. Khan, Bioremediation of Sewage Wastewater Using Selective Algae for Manure Production, *International Journal of Environmental Engineering and Management*, vol. 4, n° 6, pp. 573-580, 2013.
- [9] Y. Collahuazo-Reinoso y S. Araujo-Abad, Producción de biofertilizantes a partir de microalgas, *CEDAMAZ Revista del Centro de Estudio y Desarrollo de la Amazonia*, vol. 09, n° 02, pp. 81-87, 2019.
- [10] R. Radhakrishnan, S. Banerjee, S. Banerjee, V. Singh y D. Das, Sustainable approach for the treatment of poultry manure and starchy wastewater by integrating dark fermentation and microalgal cultivation, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 23, n° 2, pp. 790-803, 2021.
- [11] A. A. Cortés-Téllez, S. Sánchez-Fortún Rodríguez y M. C. Bartolomé-Camacho, Mecanismos de resistencia a metales tóxicos (Cd) bajo variaciones abióticas en microalgas, *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, vol. 21, n° 1, pp. 40-52, 2018.
- [12] J. Beltrán-Rocha, C. Guajardo-Barbosa, I. D. Barceló-Quintal y U. J. López-Chuken, Biotratamiento de efluentes secundarios municipales utilizando microalgas: Efecto del pH, nutrientes (C, N y P) y enriquecimiento con CO₂, *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, vol. 52, n° 3, pp. 417-427, 2017.
- [13] L. E. Cerón, K. M. Miramag, P. Izquierdo-Fernández y F. L. Ortiz, Efecto de las variaciones de las fuentes de nitrógeno, fósforo y mezcla de micronutrientes en agua residual municipal para la producción de biomasa de *Scenedesmus* sp, *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, vol. 30, n° 1, pp. 121-128, 2018.
- [14] G. Soto, P. Monar, Y. García-Orellana, A. G. Simbaña, E. Tello, J. Brito-Borges y D. Torres-Rodríguez, Propuesta de un protocolo para la obtención de fertilizante orgánico a partir de microalgas, *Revista Científica A.S.A.*, vol. 1, n° 14, pp. 92-109, 2020.
- [15] A. G. Martínez-Romero, A. Alvarado-Lassman, N. A. Vallejo-Cantú y J. M. Méndez-Contreras, Producción de biomasa de *Spirulina* máxima en la remoción de fósforo presente en aguas residuales porcícolas, *Revista del Centro de Graduados e Investigación*, vol. 33, n° 73, pp. 368-382, 2018.
- [16] M. Caballero-García, J. M. Méndez-Contreras y G. Cortés-Robles, *Desarrollo de estrategias de operación de fotobiorreactores para la producción de pigmentos y nutrientes a partir de microalgas*, Orizaba: Tecnológico Nacional de México, 2019.
- [17] M. Ghafari, B. Rashidi y B. Z. Haznedaroglu, Effects of macro and micronutrients on neutral lipid accumulation in oleaginous microalgae, *Biofuels*, vol. 9, n° 2, pp. 147-156, 2016.
- [18] N. Gutiérrez-Casiano, E. Hernández-Aguilar, A. Alvarado-Lassman y J. M. Méndez-Contreras, Removal of carbon and nitrogen in wastewater from a poultry processing plant in a photobioreactor cultivated with the microalga *Chlorella vulgaris*, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, vol. 57, n° 7, pp. 620-633, 2022.
- [19] L. Geddes, K. Kunihiro y E. Turner, *Simplified procedures for water examination*, Denver: American Water Works Association, 2014.
- [20] R. Ramos y R. Pizarro, Crecimiento y capacidad de biorremediación de *Chlorella vulgaris* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) cultivada en aguas residuales generadas en el cultivo del pez dorado *Seriola lalandi* (Perciformes: Carangidae), *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, vol. 53, n° 1, 2018.
- [21] I. B. Rodriguez y T. Y. Ho, Trace Metal Requirements and Interactions in *Symbiodinium kawagutii*, *Frontiers in Microbiology*, vol. 9, n° 142, 2018.

- [22] R. Hudson, R. de Graaf, M. S. Rodin y V. Sojo, CO₂ reduction driven by a pH gradient, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 117, nº 37, pp. 22873-22879, 2020.
- [23] L. J. Gómez-Merchán, Uso de *Spirulina platensis* en la bioadsorción de metales pesados presentes en aguas residuales industriales, *Boletín Semillas Ambientales*, vol. 12, nº 1, pp. 58-65, 2018.

Análisis comparativo de dos modelos Acuapónicos para sustentabilidad de agua y especie endémica en Pátzcuaro, Michoacán

Maricela Villanueva-Pimentel¹, Alejandro Soto-Castro², Andrés A. Arellano Torres³, Juan Antonio Tello Ballinas⁴, Angel A. Nambo Loera⁵.

¹Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, mvillanueva@itspa.edu.mx ²Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, asoto@itspa.edu.mx ³Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera-Pátzcuaro, andres.arellano@inapesca.gob.mx ⁴Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera-Pátzcuaro, juan.tello@inapesca.gob.mx ⁵Investigador Independiente, namboloera@gmail.com

Área de participación: Química: Biotecnología

Resumen

Esta investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera Pátzcuaro (CRIAP-Pátzcuaro), con el objetivo de implementar dos modelos de acuaponía (Balsas flotantes y NFT), obteniendo los parámetros de producción de Acúmara (*Algansea lacustris*), y lechuga (*Lactuca sativa* L.), así como algunos indicadores sobre la calidad de agua que permitieran la funcionalidad óptima de ambos modelos. Se realizaron biometrías para registrar peso y talla iniciales y finales para la valoración del desarrollo de la especie acuícola endémica del lago de Pátzcuaro.

La calidad del agua influyó en no tener alteraciones de mortalidad en los peces debido a los resultados bajos de amoníaco, nitritos, nitratos, fósforo, demanda de oxígeno, pH, turbidez y sólidos suspendidos totales, lo que llevó a la comprobación de hipótesis, de que ambos son alternativas viables para la sustentabilidad del agua y conservación de la acúmara.

Palabras clave: Acuaponía, acúmara, lechuga, seguridad alimentaria.

Abstract

This research was carried out at the facilities of the Pátzcuaro Regional Aquaculture and Fisheries Research Center (CRIAP-Pátzcuaro), with the aim of implementing two aquaponics models (floating rafts and NFT), obtaining the production parameters of Acúmara (Algansea lacustris), and lettuce (Lactuca sativa L.), as well as some indicators on water quality that would allow the optimal functionality of both models. Biometrics were performed to record initial and final weight and size for the assessment of the development of the endemic aquaculture species of Lake Pátzcuaro.

The quality of the water influenced in not having alterations in mortality in the fish due to the low results of ammonia, nitrites, nitrates, phosphorus, oxygen demand, pH, turbidity and total suspended solids, which led to the verification of hypotheses, of that both are viable alternatives for the sustainability of water and conservation of the acúmara.

Key words: Aquaponics, acumara, lettuce, food security.

Introducción

La creciente demanda de alimentos a nivel mundial como resultado del incremento poblacional; el agotamiento de recursos o ecosistemas naturales y la falta de políticas eficientes para la obtención de la seguridad alimentaria,

hacen necesaria la búsqueda de alternativas de producción innovadoras y sustentables que puedan incluso sustituir la agricultura y técnicas pecuarias tradicionales en el abastecimiento de alimentos suficientes en cantidad y calidad.

El Lago de Pátzcuaro, ubicado en el estado de Michoacán ha sufrido desde hace varias décadas un descenso en el nivel de agua, contaminación por actividades antropogénicas, deforestación, erosión de suelos circundantes y además una disminución notable en las poblaciones de algunas de sus especies endémicas, tales como el pez blanco, la acúmara y el achoque. También se han afectado las actividades productivas agrícolas, forestales y de pesquería y por ende el turismo y la economía de los habitantes, principalmente de la ribera lacustre. Las especies endémicas mencionadas, conforman en conjunto con otras especies de peces, la fauna íctica del lago teniendo una importancia de valor biológico, social, cultural, económico y como alternativa de producción sustentable para el abastecimiento de alimentos e incluso como una alternativa de impulso a la economía familiar.

La necesidad de obtener y producir más fuentes de alimentos ha abierto la puerta a nuevos modelos de producción como es la acuaponía, una combinación de los sistemas de acuicultura (cría de peces) y la hidroponía (cultivo de plantas en agua sin suelo) donde según [1], las plantas utilizan los nutrientes de manera más eficiente en comparación con sistemas de cultivo convencionales, por lo cual se cosechan sin la adición de fertilizantes gracias a que con el sistema de circulación de agua, los peces proporcionan todos los nutrientes que son indispensables para el crecimiento del cultivo vegetal. Son sistemas con amplias aplicaciones, inclusive para sustituir la agricultura tradicional, pues representan una solución sustentable para la producción de alimentos y a la vez contribuyen a la seguridad alimentaria humana, pues según [2], los sistemas de acuaponía pueden convertirse en un medio adicional para abordar el desafío global del suministro de alimentos.

Un sistema acuapónico como oportunidad de fortalecimiento a la seguridad alimentaria se debe a la ventaja de que con un buen manejo de los recursos en el sistema, se pueden reducir costos y producir alimentos sanos para el suministro familiar, pues como cita [3] *“existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana”*.

Por otra parte, existen pocas especies de peces que se cultivan bajo este tipo de sistemas cerrados, la mayoría de los sistemas son con tilapia y trucha arcoiris. Sin embargo, no existe evidencia de la implementación de estos modelos con especies como el pescado blanco (*Chirostoma estor*), la acúmara (*Algansea lacustris*) y el achoque (*Ambystoma dumerilii*), especies ya mencionadas como endémicas del Lago de Pátzcuaro. *Algansea lacustris*, es una especie del lago de Pátzcuaro y que en conjunto con otros peces conforman la fauna íctica que este posee. [4], comenta que es una de las especies endémicas más conocidas de la región y que esta tiene importancia económica debido a su volumen de captura y demanda en el mercado. No obstante, las poblaciones de *Algansea lacustris* se encuentran amenazadas por causas como: la sobreexplotación, el desconocimiento de la especie y el deterioro ambiental ocasionado por el azolve que es generado por el arrastre de sólidos de las zonas deforestadas y residuos que se descargan en el propio lago como las aguas residuales sin tratamiento previo y últimamente por la presencia de residuos de agroquímicos del cultivo intensivo de frutillas.

Los sistemas de acuaponía atienden la necesidad del cuidado del agua debido al Sistema de Recirculación de Agua (RAS), siendo un proceso cerrado donde el agua fluye por cada uno de los componentes del sistema cumpliendo el ciclo de limpieza, transportación de nutrientes, filtración biológica o mecánica para mantener el crecimiento de las dos unidades productivas acuícola y vegetal que componen la acuaponía haciendo un uso racional del recurso hídrico. Su importancia radica además en que “establece varias dimensiones dentro de un mismo sistema, es decir, tiene en cuenta la relación entre los diferentes componentes de un ecosistema natural, a saber, agua, aire, luz, bacterias, microalgas, peces, plantas y seres humanos” [5]. La producción acuapónica tiene considerables ventajas sobre los sistemas tradicionales de acuicultura, ya que reducen la cantidad de nitrógeno peligroso en las descargas, la cantidad de agua por su reutilización, y los costos de operación por acarreo de agua, además de producir vegetales con un valor agregado por ser considerados como “productos orgánicos”, al eliminar el uso de químicos como plaguicidas y fertilizante [6][7].

Los modelos de acuaponía del tipo NFT (Nutrition, Film Technique), emplean técnicas distintas para el manejo de los cultivos de peces y plantas, [8] comenta que son sistemas que necesitan muy poco espacio con un canal de cultivo de ligera pendiente donde corre una película de agua muy fina que contiene una solución nutritiva. [9] menciona que el NFT es el modelo más práctico a la hora de su montaje, presentando ventajas el hecho de que la película de nutrientes se encuentra bien oxigenada, lo que permite que solo deba oxigenar el agua del

contenedor de los peces. Adicionalmente estos sistemas requieren de poco mantenimiento y son fácilmente expandibles.

Por otra parte, el modelo de balsas flotantes según [8], comenta que estos sistemas no necesitan un depósito de agua de reserva, flotando sobre ella planchas de poliestireno expandido con perforaciones donde se colocan las plantas, de esta forma, las raíces quedan inmersas en la solución nutritiva que se caracteriza por su gran volumen de agua que contienen. Este tipo de sistemas tienen la desventaja de que los costos de instalación son altos en comparación con los sistemas NFT, no obstante, es recomendable para grandes sistemas.

Así como existe diversidad de los modelos y las técnicas, en los sistemas de acuaponía se debe resaltar la gran variedad de especies acuícolas y vegetales que se pueden producir, según [9] las especies acuáticas más común en acuaponía son: Carpa común, Tilapia, Bagre y Trucha Arco Iris, sin embargo existen poblaciones de especies endémicas que por desconocimiento de dicha especie no son consideradas para su estudio, según [10] considera que el grupo de los peces nativos son un potencial para estos sistemas debido a su alto valor nutricional, sabor e importancia local y regional.

Para los cultivos vegetales, [9] comentan que los cultivos que han sido probados para obtener producciones que hacen atractivo su cultivo y como propuesta para abastecer a nivel familiar o comunidad de alimentos sanos y de buena calidad son: albahaca, coliflor, pepino, berenjena, morrones, tomate, brócoli, acelga, perejil y lechuga siendo esta una de las plantas que más se utiliza en los sistemas acuapónicos teniendo un éxito si se mantienen con los niveles adecuados de luz, pH y nutrientes que requiere la planta para su óptimo crecimiento.

Por todo lo expuesto con anterioridad, es que en este estudio se presenta el sustento teórico y metodológico para el planteamiento de la siguiente hipótesis: “La identificación de los parámetros de calidad de agua y funcionamiento de dos modelos de acuaponía permiten su consideración como alternativas para el manejo sustentable de agua y una especie acuícola endémica en el lago de Pátzcuaro, Michoacán”

Metodología

Este estudio se llevó a cabo en colaboración del Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro (ITSPA) con el Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera Pátzcuaro (CRIAP), donde se desarrollaron los dos modelos de unidades experimentales de acuaponía (Balsas flotantes y NFT), para identificar las condiciones y parámetros en la productividad de la especie vegetal “*Lactuca sativa* L.” y acuícola “*Algansea lacustris*” con el objetivo de evaluar la funcionalidad de los dos sistemas acuapónicos como propuesta de modelo para el manejo sustentable de agua y de la producción de un cultivo de acúmara (*Algansea lacustris*) en el lago de Pátzcuaro Mich.

Materiales

- Estanques plásticos de 1.7 m³ de capacidad para la producción acuícola.
- Recipiente plástico de 200 litros de capacidad para la función de filtro biológico.
- Material pétreo como medio de soporte para el filtro biológico.
- Tubos de PVC de diversos tamaños y calibre para el sistema de recirculación.
- Bomba de 84 watts.
- Mangueras y dispersores para el sistema de aireación.
- Canaletas de PVC de diverso calibre para la producción vegetal.
- Láminas de Unicel para las balsas flotantes.
- Multiparamétrico marca Hanna Instruments HI9829.
- Fotómetro marca Hanna Instruments HI 83099.
- Reactivos para pruebas de nitritos, nitratos, amonio, oxígeno disuelto, ph, temperatura, salinidad, demanda química de oxígeno.
- Balanza portátil.
- Regla de 30 cm graduada..

Preparación

Para la etapa de preparación en la instalación de los dos modelos acuapónicos, se acondicionaron los espacios respectivos y el material. Se muestra en esquema el procedimiento metodológico para la instalación de los dos modelos acuapónicos.

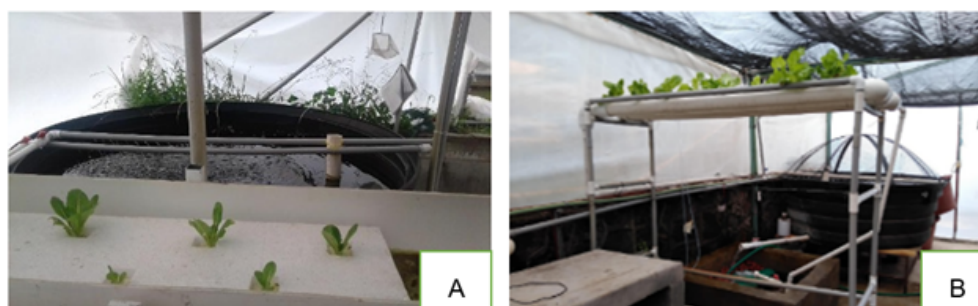


Figura 1. Imágenes de los dos sistemas instalados: a) Sistema de balsas flotantes y b) sistema NFT.

Desarrollo.

Una vez instalados los dos modelos acuapónicos, se procedió a la medición de parámetros de producción tanto en la especie acuícola (mediante la técnica de biometría con medidas de peso y talla), como en la especie vegetal (área foliar para conocer la relación de rendimiento, ausencia o concentración de nutrientes específicamente de la planta en cada una de sus etapas fenológicas durante su desarrollo como fue la etapa de almácigo, roseta, floración y raíz)

Los análisis estadísticos y procesamiento de datos se realizaron utilizando el programa de estadística R versión 4.0.4 (R Core,2015) con intervalo de confianza del 95% ($\alpha=0.05$) y el Software Microsoft Excel (2016). Para la planta de *Lactuca sativa* L., se hicieron análisis semanalmente de estadística descriptiva para conocer la media, mínima, máxima, y desviación estándar de: área foliar, altura y raíz, con un nivel de confianza (95.0%). Así mismo, en los parámetros de peces se realizaron pruebas de F del peso y talla para conocer su interacción, alimentación y comportamiento como resultado de las biometrías.

Por último, sobre el análisis de calidad de agua de la concentración de amonio, nitritos, nitratos y D.Q.O., estos indicadores fueron registrados cada semana para posteriormente realizar análisis estadísticos descriptivos para conocer el comportamiento de los parámetros medidos teniendo datos con un nivel de confianza (95.0%).

Resultados y discusión

Primeros resultados

Tabla 1. Resultados de biometrías de los modelos de balsas flotantes y NFT.

Parámetros de Acúmara	Unidad experimental 1			Unidad experimental 2		
	Max	Min	Promedio	Max	Min	Promedio
Talla	13.5 cm	9.0 cm	11.5 cm	17.8 cm	10.5 cm	14.5 cm
Peso	16.5 gr.	9.0 gr.	15.3 gr.	25.3 gr.	10.3 gr.	19.0 gr.

Los peces en el primer modelo de balsas flotantes incrementaron su peso en promedio de 9.0 gr. a 16.5 gr. y su talla de 9.0 cm a 13.5 cm. La mortalidad final en el modelo fue del 3%. En el segundo modelo, NFT, el peso promedio de peces pasó de 10.3 gr. a 25.3 gr., y su talla de 10.5 cm a 17.8 cm. La mortalidad final en este modelo fue del 2.5%.

Segundos resultados

Tabla 2. Concentración de resultados para lechuga en los modelos de balsas flotantes y NFT.

<i>Lactuca sativa</i> L.	Plancha 1	Plancha 2	Plancha 3	Plancha 4	NFT 1	NFT 2	NFT 3
Altura (cm)	2.75±9.21	10.75±18.39	4.04±7.90	20.01±36.29	5.44 ± 15.68	3.87 ± 15.35	6.94 ± 11.58
Raíz(cm)	4.08±9.35	11.87±17.05	4.43±6.33	24.79±31.80	15.71 ± 28.7	9.78 ± 21.14	11.81 ± 21.72
Total, de hojas (N°)	3.01±12.91	14.84±23.89	4.84±10.20	31.17±61.7	5.95 ± 13.92	4.24 ± 14.45	4.84± 9.78
Área foliar m ²	3.65±6.28	6.95±9.58	3.95±5.75	15.93±21.42	59.40 ± 96.84	41.06 ± 104.39	68.54 ± 57.24

En relación con el rendimiento en la producción de lechuga, de acuerdo con la Tabla 1 se observa que en la unidad experimental de balsas flotantes se obtuvo un rendimiento más bajo que en el modelo NFT. La altura final alcanzada por las lechugas cultivadas con el método NFT, fue mayor (15.68 cm) a diferencia del método de balsas flotantes, que fue de 12.91 cm. La raíz tuvo una mayor elongación con el método NFT, (28.7 cm) que en el de balsas flotantes, (23.89 cm). El área foliar adquirió mayor crecimiento en el método NFT (104.39 cm), que en el de balsas flotantes (61.7 cm),

Terceros resultados

Tabla 3. Resultados de parámetros fisicoquímicos para los modelos de balsas flotantes y NFT

Parametro	Balsas flotantes		NFT	
	Entrada	Filtro	Entrada	Filtro
Amonio	0.00±0.02	0.05 ± 0.00	0.00 ± 0.02
Nitratos	9.41±12.69	9.92±12.37	7.9± 18.5	9.0 ± 18.5
Nitritos	0.0 ±0.1	0.0± 0.2	0.02 ± 0.16	0.02 ± 0.15
D.Q.O.
Fósforo			0.1 ± 0.5	0.0 ± 0.6

Es importante destacar que de acuerdo a los resultados obtenidos, las concentraciones de nitritos no llegan a superar el valor de 1 mg/l que es el nivel máximo de toxicidad para los peces. En cuanto a nitratos tampoco se alcanzaron los valores máximos de 20-25 mg/l que representan afectación para los peces. Esto fue tanto para el modelo de balsas flotantes como para el modelo NFT.

Últimos resultados

Con base a los resultados obtenidos, se pudo confirmar que estas alternativas biotecnológicas permiten disminuir la demanda de consumo de agua en sistemas de acuicultura hasta un porcentaje superior al 90%. Para el caso de ambos sistemas se requiere un recambio del 8 al 6% semanal, lo que inca que el recambio de agua fue mínimo y solo fue necesario para recuperar las pérdidas por evaporación tanto en el estanque y el filtro biológico. Lo

anterior representa un recambio de 1% y en consecuencia la recirculación de del 99%, similar a la obtenida por [11]. Destacando finalmente que en cuanto a la producción de acúmara, los organismos en ambos sistemas presentaron indicadores de crecimiento con relativamente bajas tasas de mortalidad.

Trabajo a futuro

Este estudio se desarrolla como una fase experimental de los modelos de acuaponía instalados, de los cuales, se obtuvieron datos relevantes sobre el rendimiento de la especie acuícola y vegetal, mismos que servirán a futuro como base de análisis para determinar el modelo óptimo para la producción de las especies ya estudiadas, para posteriormente realizar una experimentación con especies distintas y tener un comparativo de rendimientos.

Conclusiones

Respecto a parámetros de producción de lechuga, (*Lactuca sativa* L.) la diferencia del crecimiento comparando ambos modelos de acuaponía fue del 15% siendo el mejor crecimiento en la unidad NFT. La acúmara (*Algansea lacustris*) fue mayor su crecimiento en la segunda unidad experimental, infiriendo este resultado por el comportamiento de los valores físicoquímicos (nitratos:18.5 mg/l, nitritos:0.16 mg/l, amonio: 0.01 mg/l) y los valores de las biometrías obtenidos, comparados entre la primera y segunda unidad, sin embargo en ambos modelos tuvo un crecimiento y un mantenimiento en sobrevivencia significativamente importante, lo que lleva a concluir que ambos son modelos alternativos sustentables para poder preservar dicha especie y generar conocimiento sobre su comportamiento en los sistemas de acuaponía controlados y difundir dichos modelos como alternativas sustentables viables que impulsen la economía en esta importante región lacustre.

En cuanto a la calidad del agua, la tendencia de la concentración de los parámetros de nitratos, nitritos, amonio y D.Q.O., fue menor en la segunda unidad experimental, con lo cual se presenta una mortalidad menor y se considera un mejor sistema para la producción acuapónica presentando una ventaja positiva debido a que la demanda de agua de este sistema se operaba bajo una condición de recirculación, con un gasto de 28 litros por minuto del estanque al filtro teniendo un ingreso de agua del 8% y 6% respectivamente semanal debido a la pérdida por evaporación, implicando que la demanda de agua bajo estos sistemas es muy insignificante por lo cual estos sistemas son eficientes para el cuidado del recurso hídrico, por lo que se aduce a un manejo sustentable bajo estas condiciones de recirculación superior al 98%.

El análisis cuantitativo de las variables medidas en calidad de agua; biometrías para el crecimiento de la Acúmara; parámetros del crecimiento de la lechuga; flujo hídrico y recambio de agua, así como del análisis o valoración del comportamiento de los dos sistemas de acuaponía implementados en este estudio experimental permitieron la comprobación de la hipótesis planteada, en la que se valoran como modelos alternativos sustentables y viables para la producción acuícola y vegetal, así mismo como alternativa de preservación de la calidad del recurso hídrico y conservación de una especie endémica del lago de Pátzcuaro.

Agradecimientos

Al Centro Regional de Investigación Pesquera Pátzcuaro (CRIP- Pátzcuaro), por permitir y proporcionar instalaciones y material para el desarrollo de los modelos acuapónicos. Al Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, por su apoyo con el equipo y reactivos utilizados en el desarrollo de la investigación.

Referencias

- [1] S. Goddek, U. Delaide, U. Mankasingh, K. Ragnarsdottir, H. Jijakli, y R.Thorrinsdottir, "Desafíos de sostenibilidad y comercial". *Aquaponics, sustentabilidad*, Vol. 7, (4), 4199-4224 pp, 2015.
- [2] FAO, "the State of World Aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Fisheries Department, Rome. 5 pp, 2010.

- [3] W. Agudelo, "Propuesta de un sistema de acuaponia para promover la agricultura sostenible y mejorar la economía del municipio de Tibacuy, caso de estudio Finca Los Naranjos. Tesis para la obtención del grado de Ingeniería Ambiental. Universidad El Bosque. Bogotá, Colombia, pp. 12-15, 2021.
- [4] C.A. Hoil-Rosas, C. A. "Sistema computacional para el análisis y manejo del fotoperiodo en ciclos reproductivos de la *Algansea lacustris*". Tesis para obtener el grado de maestría en ciencias de ingeniería de cómputo. IPN. México, Ciudad de México, 2017.
- [5] M.Rozo, D. Quintero, "Estudio del plan de negocio de producción de tilapia y lechuga basado en la técnica de acuaponia en el municipio de Quetame Cundinamarca. Trabajo para obtención de Especialidad en Gestión de Proyectos. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia, pp. 10, 2021.
- [6] M. García-Ulloa, & R. Chavéz, & F. Hernández, & C. León, "Evaluación de un sistema experimental de acuaponia", *Avances en Investigación Agropecuaria*, 9(1), 2005. [fecha de Consulta 10 de Agosto de 2022]. ISSN: 0188-7890. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83709105>
- [7] S. Diver, "Aquaponics-Integration of Hydroponic with Aquaculture", Horticulture Systems Guide. National Center for Appropriate Technology. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas, USA. 37 pp, 2000.
- [8] M. González, "Diseño, construcción y análisis de funcionamiento inicial de un sistema de Acuaponía que combina un estanque ornamental con un jardín vertical exterior", Tesis para obtener Grado en Ingeniería Agrícola. Hortofruticultura y Jardinería. Universidad de Sevilla, 2017.
- [9] V. Cutiño, J. Imeroni, & P. Sanzano, "Acuaponía como alternativa productiva social. Tesina de la Orientación de Producción Ictícola, presentada como parte de los requisitos para optar al grado de Veterinario Facultad de Ciencias Veterinarias (UNCPBA), 2018.
- [10] B. Piñeros, y C. Borraez, "Diseño e implementación de un sistema para el control y monitoreo de variables aplicado a un cultivo acuapónico a pequeña escala basado en IOT", Tesis para obtener el grado de Ingeniería Electrónica. Universidad Santo Tomás. Bogotá, Colombia, 2019.
- [11] A. Soto-Castro, L. Soria-Leal, J.C. Orantes-Avalos, " Estudio de un reactor de lecho móvil acoplado a un sistema acuícola con recirculación". Proceedings 4th IWA Mexico YWP Conference. Guanajuato, México, 27-29 April 2015.

Efecto de un sustrato enriquecido con zarzamora sobre la concentración de metabolitos bioactivos en cuerpos fructíferos de *Pleurotus ostreatus*

Sitalilitl Vázquez Ramírez^{1*}, Oscar Carmona Hernández¹, Ana María Aguirre Martínez¹, Yadeneiro De la Cruz Elizondo¹, José Armando Lozada García¹,

¹Facultad de Biología Xalapa, Universidad Veracruzana, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, Xalapa, Veracruz. C. P. 91090
alozada@uv.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen Se evaluó el efecto de un sustrato enriquecido con zarzamora en diferentes porcentajes sobre la concentración de metabolitos bioactivos (MB) en cuerpos fructíferos de *Pleurotus ostreatus* y sobre la tasa de producción (TP) - eficiencia biológica (EB). La concentración de MB totales (flavonoides, fenoles, alcaloides, terpenos) se determinó mediante espectrofotometría. La TP y la EB se estimó por el tiempo de colonización del micelio y la producción de cuerpos fructíferos. Los resultados mostraron que los flavonoides, fenoles y terpenos están presentes en zarzamora, pero no se incorporan significativamente a los cuerpos fructíferos. Los alcaloides estuvieron presentes en paja, pero de igual forma, no se incrementan en los cuerpos fructíferos. No se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones MB respecto al testigo, sin embargo, existe una tendencia al incremento de estos en la proporción del 15 %. Por el contrario, la EB y TP no fue afectada por el sustrato modificado, la proporción del 5 % muestra una tendencia a incrementarlas.

Palabras clave: Eficiencia biológica, tasa de producción, cuantificación por espectrofotometría

Abstract Tested the effect of a substrate enriched with different percent blackberry on the concentration of bioactive metabolites (BM) in fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus* and on the production rate (PR) and biological efficiency (BE) was evaluated. The total concentration of BM (flavonoids, phenols, alkaloids, terpenes) was determined by spectrophotometry. The PR and BE were estimated by the colonization time of the mycelium and the production of fruiting bodies. The results showed that flavonoids, phenols and terpenes were present in blackberry, but they were not incorporated significantly into the fruiting bodies. The alkaloids were present in straw, but not in the fruiting bodies and no significant differences were between BM and control, however, there is a tendency to increase these to 15%. On the contrary, the BE and PR were not affected by the modified substrate, the concentration of 5% shows a tendency to increase them.

Key words: production rate, biological efficiency, spectrophotometry-quantification

Introducción

Pleurotus ostreatus es hongo comestible conocido comúnmente como seta, hongo ostra u oreja blanca; que, por su color, sabor, olor y valor nutricional es consumido en gran parte del mundo [1-2]. *P. ostreatus* contiene diversos compuestos bioactivos de interés medicinal y biotecnológico, siendo un candidato ideal para ser un alimento funcional. Posee diferentes nutrientes, entre ellos, proteínas, fibra, vitaminas B1, B2, B6, B12, calcio y fósforo [3-4]. Además de metabolitos secundarios con actividad antioxidante presentes en los cuerpos fructíferos [5-6]. En la actualidad aún se desconoce su potencial como alimento funcional, a pesar de que existen varios estudios de sus compuestos bioactivos con actividad antioxidantes y/o nutraceuticos [5-8]. Por ello se siguen buscando alternativas para su crecimiento y mejora de sustratos para incrementar la producción, así como generar estrategias que impacten positivamente en su calidad y propiedades nutraceuticas [9].

Se sabe que el uso de sustratos juega un papel importante en la adicción de compuestos bioactivos, que pudieran mejorar su valor nutrimental, así como a la salud humana. Estudios previos han documentado que la capacidad antioxidante se ha visto mejorada por la adicción de sustratos no convencionales, como la pulpa de café, achiote, cacao, y diversas hojas, por ejemplo, de maíz, pimienta y plátano. Uno de ellos podría ser la zarzamora silvestre (*Rubus adenotrichus*) que contiene altas concentraciones de flavonoides-fenoles; alcaloides y terpenos que pudieran incorporarse de manera directa a los cuerpos frutíferos de la seta blanca [10]. En este sentido se determinó el efecto que tiene un sustrato enriquecido con zarzamora sobre el contenido de metabolitos bioactivos en los cuerpos frutíferos de *Pleurotus ostreatus*.

Metodología

Colecta y obtención de material biológico

R. adenotrichus (zarzamora silvestre) fue colectada en un predio ubicado en la Localidad del El Roble municipio de Rafael Lucio, Veracruz (19.64896682, -97.00645734) y fue secada a 45 ± 5 ° C. La cepa de *Pleurotus ostreatus* se obtuvo de la empresa HONCOP del municipio de Perote, Ver.

Sembrado e inoculación de *Pleurotus ostreatus*

Se utilizó paja seca de trigo de 5 a 8 cm, descartando aquella de color verde, para el follaje de zarzamora se secó a temperatura ambiente y se trozaron los tallos y las hojas. Ambos sustratos se remojaron por separado durante 12 horas con una solución al 1% de hipoclorito de sodio y 10 gr de óxido de calcio. En el caso particular de la paja se hirvió durante 45 minutos y se dejó escurrir durante 30 minutos. Se prepararon bolsas con 500 gr de sustrato y/o sustrato con paja y el follaje seco de zarzamora a diferentes concentraciones, por último se esterilizaron a 15 libras de presión durante 15 minutos [11]. La siembra se realizó en bolsas de polipapel y consistió en 5 capas, divididas de la siguiente forma: micelio + sustrato + micelio + sustrato + micelio, el sustrato fue paja o paja con follaje de zarzamora a diferentes proporciones (5, 15 y 25%).

Las muestras inoculadas se incubaron a 28° C a oscuridad total, con humedad de 70 a 80 %. Una vez que el micelio colonizó en su totalidad el sustrato, se realizaron cuatro perforaciones por lado y dos a los costados. Obtenidos los primeros primordios fueron trasladados a luz para estimular el crecimiento, junto con riegos de 60 segundos cada ocho horas hasta obtener la primera cosecha, los cuerpos frutíferos se cortaron desde el pie para evitar contaminación y daño al micelio.

Evaluación de la tasa de producción

De la primera cosecha se tomaron las medidas de ancho, largo del sombrero y pie, además, se observó el cambio de forma y color [12-13].

La eficiencia biológica, se determinó por el potencial biológico de los sustratos para la producción de cuerpos frutíferos, y se utilizó la siguiente ecuación:

$$EB = \frac{\text{Peso fresco de los cuerpos frutíferos}}{\text{Peso seco del sustrato empleado al momento de la inoculación}} * 100$$

Figura 3. Fórmula de la Eficiencia Biológica expresada en %

El rendimiento medio se determinó mediante la rentabilidad del cultivo utilizando la siguiente ecuación y se expresó en %:

$$TP = \frac{\text{Eficiencia biológica}}{\text{Periodo de colonización del sustrato+periodo de fructificación en días}}$$

Figura 2. Fórmula de la Taza de producción expresada en %

Extractos de *Pleurotus ostreatus*, *Rubus adenotrichus* y de paja

Los cuerpos fructíferos frescos fueron deshidratados a 45 ± 5 °C por 24 horas. Transcurrido el tiempo se realizaron extracciones por maceración asistida con nitrógeno líquido tanto para la paja, setas y zarzamora. 0.5 g del material triturado se le añadieron 10 mL de etanol al 80 % y se centrifugó a 4000 rpm durante 20 minutos [14].

Cuantificación de metabolitos totales

Los flavonoides se determinaron con el método de tricloruro de aluminio, usando como estándar quercetina [15]. A 1 mL de extracto o estándar se le adicionaron 1 mL de solución etanólica de $AlCl_3$ al 2%. Después de una hora de incubación a temperatura ambiente, se midió la absorbancia a 420nm. Los resultados se expresaron como μg equivalentes a quercetina por mg del extracto (μg EQ /mg).

Los fenoles totales se determinaron por el método de Folin-Ciocalteu, usando como estándar ácido tánico [16-17]. A 1 mL del extracto se le agregó 800 μL de agua y 100 μL de reactivo de Folin-Ciocalteu, 50 μL de Na_2CO_3 al 20%. Se agitó y se mantuvo en reposo por una hora a oscuridad total. La absorbancia se tomó a 760 nm. Los resultados se expresaron como μg equivalentes de ácido tánico por mg del extracto (μg EAT).

Los alcaloides totales se cuantificaron por método de BBG, usando como estándar cafeína [18]. 1 mL del extracto o estándar se le agregó 2.1 mL de agua destilada y 900 μL de etanol, además, se añadió 1.25 mL de verde bromocresol, más 1.15 mL de fosfato de sodio dibásico, adicionalmente 2.5 mL de cloroformo, se agitó y se recuperó el precipitado, el cual se leyó a 470 nm. Los resultados se expresaron como μg equivalentes a cafeína por mg del extracto (μg EC).

Los terpenos totales se determinaron por el método de reducción de isopreno [19], usando como estándar mentol. A 200 μL del extracto, se le agregó 1500 μL de cloroformo, más 200 μL de ácido sulfúrico H_2SO_4 , se agitó por 3 minutos y se incubó 2 horas a oscuridad, se tomó 150 μL del precipitado, y se agregaron 1500 μL de metanol, la absorbancia se tomó a 538 nm. Los resultados fueron expresados como mg en equivalentes a mentol por mg del extracto (mg EM).

Análisis estadísticos

Los datos se analizaron utilizando un ANOVA con la finalidad de encontrar diferencias entre las concentraciones de metabolitos secundarios en los diferentes sustratos enriquecidos con *R. adenotrichus* y las diferencias entre los cuerpos fructíferos, se utilizó el paquete estadístico Paleontological Statistics.

Resultados y discusión

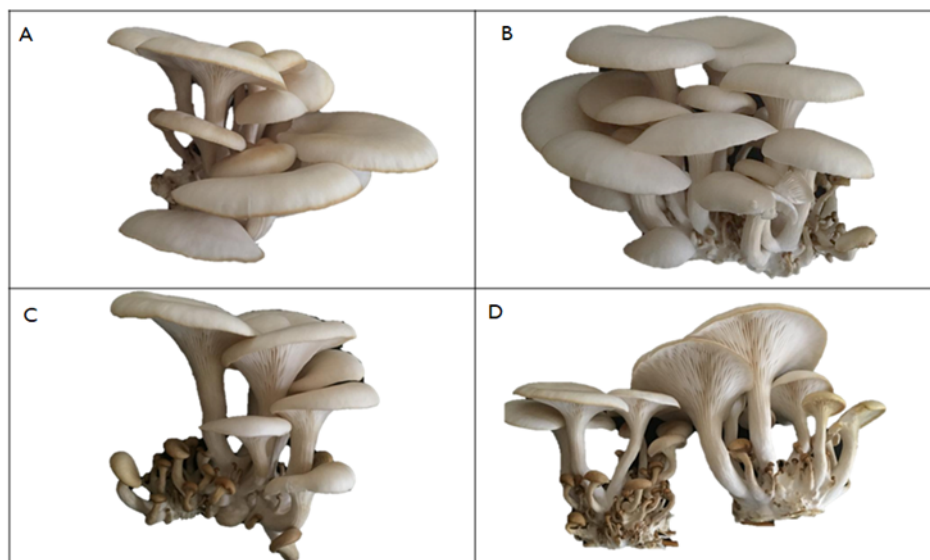
Evaluación de la tasa de producción

El sustrato donde se obtuvo mayor número de cuerpos fructíferos fue en la proporción del 25% de zarzamora, con 12 cuerpos fructíferos maduros, en comparación con el testigo, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas al igual que en el tamaño del cuerpo (largo, ancho y tamaño del pie) (Figura 1) esto sugiere que el sustrato modificado no afecta este parámetro productivo. Otro de los parámetros que no se vieron afectados fueron el peso fresco (33.12%) y seco (3.18%) de los cuerpos fructíferos cosechados.

La eficiencia biológica (EB) para todas las concentraciones osciló entre 8 a 32.8 % y no hubo diferencias significativas ($p > 0.418$) entre las diferentes proporciones y el testigo. La mayor EB fue en la proporción del 5% de zarzamora con un promedio de 16.48 % y la menor fue el testigo con 10.46 %. Sin embargo, la EB es baja comparado con lo que se reporta para semillas de algodón, serrín de nogal, naranja y residuos de papel, pero superior a lo obtenido con serrín de madera y desechos de papa [20-21].

La mejor tasa de producción se obtuvo en la proporción del 5% de zarzamora con un promedio de 5.47 % por el contrario la a menor TP fue con zarzamora al 15% con 0.47 %. Finalmente, no se encontraron diferencias significativas entre las 4 concentraciones, pero si una tendencia en la TP con el sustrato al 5 % de zarzamora. La baja TP y EB pudieron deberse a que los sustratos no aportaron la cantidad suficientes de nutrientes para un buen crecimiento y producción de micelio [22]. Esto pudo deberse a que la cantidad de paja fue reducida durante

los experimentos para la adicción de zarzamora. lo cual modificó directamente la concentración de algunos nutrientes, fenómeno que se ha registrado en un sustrato de paja de trigo con jacintos de agua en una proporción 1:1 [23]



	A	B	C	D
L	47.71	44.91	36.79	37.82
A	37.93	38.09	31.87	31.7
P	23.87	28.22	23.58	22.38

Figura 3. Cuerpos fructíferos de *P. ostreatus*. A. Testigo; B. 5% *R. adenotrichus*; C. 15% *R. adenotrichus*; D. 25% *R. adenotrichus*. Todos presentan un color y tamaño similar. Donde: L) Largo en mm, A) ancho en mm y P) tamaño del pie en mm.

Metabolitos bioactivos

Se determinó que el contenido de flavonoides en paja fue bajo (0.2 µg/mg EQ), por el contrario, la zarzamora presentó 1.74 µg EQ (Figura 2 a). Respecto a los hongos se encontró que la proporción del 15 % fue la que presentó mayor concentración de flavonoides con 0.45 µg EQ (Figura 2 b), a pesar de ello no se encontró diferencias significativas. Los fenoles estimados para la zarzamora fueron de 1.065 µg EAT y para la paja fue de 0.6313 µg EAT, al igual que en los flavonoides la concentración de 15 % de zarzamora fue la que presentó la mayor concentración de fenoles con un estimado de 1.33 µg EAT (Figura 2 c-b), con ello, se puede inferir que estos no se incorporaron dado que no encontraron diferencias significativas entre el testigo y las concentraciones. Esto pudiera deberse a que los hongos pueden sintetizar estos compuestos, por lo cual evitan su incorporación [24-25]. Sin embargo, se ha reportado que estos compuestos pueden estar presentes en bajas concentraciones o ausentes en los cuerpos frutíferos [21].

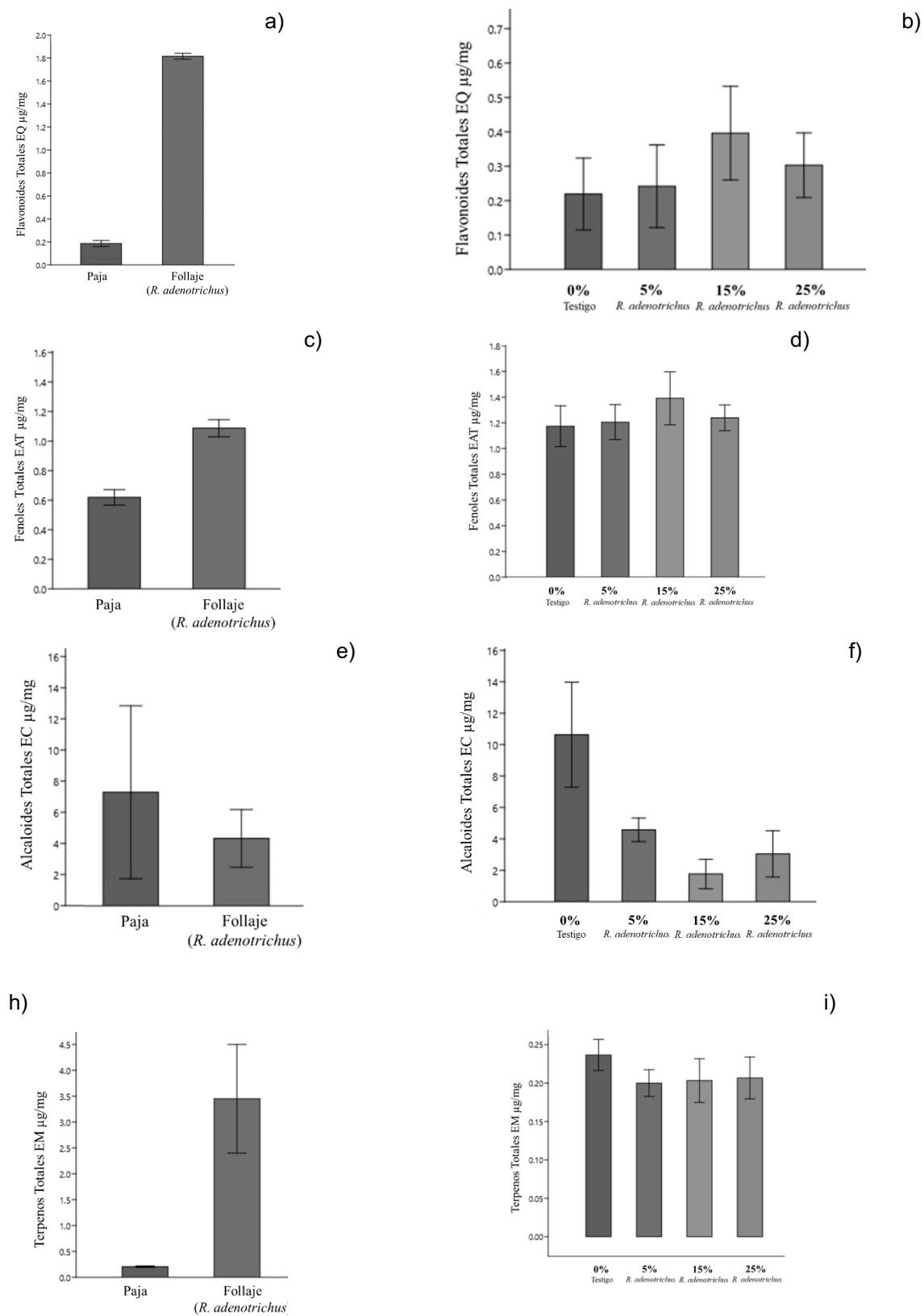


Figura 2. Concentración de metabolitos bioactivos en los extractos obtenidos de *Pleurotus ostreatus* (hongo seta), zarzamora (*Rubus adenotrichus*) y paja. a) flavonoides totales en zarzamora y paja, b) flavonoides totales en hongo

seta, c) fenoles totales en zarzamora y paja, b) fenoles totales en hongo seta, d) alcaloides totales en zarzamora y paja, e) alcaloides totales en hongo seta, g) terpenos totales en zarzamora y paja e) terpenos totales en hongo seta

Los alcaloides a diferencia de los fenoles y flavonoides se encontraron en mayor concentración en la paja con 9.763 μg EC y en zarzamora 7.71 μg EC, ambas no presentaron diferencias significativas, con relación a los tratamientos con el testigo (9.76 μg EC) y con el resto de los tratamientos que fueron menores a 4 μg EC (Figura 2 e-f). Esto contrasta con lo reportado para *P. ostreatus* donde se han estimado concentraciones de 23.41 mg EP de alcaloides, pero también podría deberse a la cepa fúngica. Por otro lado, estos compuestos pudieron ser degradados por enzimas especializadas de *Pleurotus ostreatus* o debido a una baja adsorción durante el crecimiento [28]. Por último, los terpenos estimados en la zarzamora fueron de 3.733 mg y en paja de 0.206 mg EM, en el caso particular de este metabolito tuvieron en promedio 0.225 mg EM (Figura 2 g-h), esto se debe a que la paja tiene baja concentración de ellos y no se pudieron incorporar, además de que se sabe que estos dependen directamente de la disponibilidad en el sustrato y que se incorporan durante el crecimiento [26-27]. Contrario a lo que se ha reportado en la combinación de lavanda-paja de cebada y en paja de trigo-hojas y paja-aceite de oliva, donde se incorporaron terpenos a los cuerpos fructíferos, pero en su mayoría fueron volátiles de bajo peso molecular, que pudieran estar disponibles a diferencia de los presentes en *Rubus adenotrichus* [29-30].

Conclusiones

La presencia de *R. adenotrichus* no modificó la tasa de producción (1.62 %), así como la eficiencia biológica (32 %) y con 31.25 % de fructificación. Se presentó una tendencia en la proporción del 5 % *R. adenotrichus* al ser la concentración con mayores valores en cuanto EB y TP. Los cuerpos fructíferos fueron de tamaño similar y color característico de *P. ostreatus*. La proporción del 15 % de *R. adenotrichus*, tuvo mayor presencia de flavonoides y fenoles, por el contrario, los alcaloides y terpenos estuvieron por debajo de la concentración estimada en los testigos. Finalmente se puede inferir que la incorporación de follaje de zarzamora al sustrato no potencializó la presencia de metabolitos bioactivos en los cuerpos fructíferos de *P. ostreatus*.

Referencias

- [1] E. Landa Peralta, "Aislamiento de Esteróles a partir del Hongo Comestible *Pleurotus djamor* var. *djamor*", Maestría, Universidad Veracruzana, Xalapa, pp. 60 2008.
- [2] A. M. Garcés Molina, N. Velez Cardona, S. Ruíz Alzate, J. G. Serna D'León, y E. Suárez Holguín, "Evaluación de algunos residuos orgánicos como sustrato para el cultivo de hongos comestibles", Rev. Lasallista Investig., vol. 2, núm. 2, pp. 15–20, 2005.
- [3] A. Cruz Solorio. "Evaluación de la actividad antimicrobiana de cepas híbridas de *Pleurotus* spp". Tesis Maestría, Instituto Politécnico Nacional. Pp. 87, 2011
- [4] I. J. Nieto y C. Chegwin, "Influencia del sustrato utilizado para el crecimiento de hongos comestibles sobre sus características nutraceuticas", Rev. Colomb. Biotecnol., vol. 12, núm. 1, pp. 169–178, 2010.
- [5] V. Grifoll, M. L. Tello, I. Roncero-Ramos, y M. Pérez, "Poder antioxidante de hongos cultivados en La Rioja", Sech.info. [En línea]. Disponible en: <http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2065.%20XIII%20Jornadas%20del%20Grupo%20de%20Horticultura/Alimentaci%C3%B3n%20y%20Salud%20I/Poder%20antioxidante%20de%20hongos%20cultivados%20en%20La%20Rioja.pdf>.
- [6] Y. Huitrón-Contreras, G. Nava M. B. Martínez. Las bondades de un hongo basidiomiceto llamado *Pleurotus ostreatus*. Frontera Biotecnológica vol. 16, núm. 3, pp. 18-22, 2020
- [7] T. Mosqueda-Olivares y A. D. J. Cortés-Sánchez, "Una mirada a los organismos fúngicos: Fábricas versátiles de diversos metabolitos secundarios de interés biotecnológico", Química Viva, vol. 12, núm. 2, pp. 64–90, 2013.
- [8] S. Boonsong, W. Klaypradit, y P. Wilaipun, "Antioxidant activities of extracts from five edible mushrooms using different extractants", Agric. Nat. Resour., vol. 50, núm. 2, pp. 89–97, 2016.

- [9] J. E. Sánchez, D. Martínez, G. Mata y H. Leal, Eds., El cultivo de setas *Pleurotus* spp en México. ECOSUR, pp. 236. 2007.
- [10] S. C. Martínez-Villegas, O. Carmona-Hernández, M. López del Castillo-Lozano, C. Barrientos-Salcedo, Ma. S. Fernández, Y. De la Cruz-Elizondo, J. A. Lozada-García. Estudio fitoquímico preliminar de la dieta caprina y determinación de flavonoides en leche de cabra. AyTBUAP vol. 6, núm. 23, pp. 37-51, 2021.
- [11] R. Gaitán-Hernández, D. Salmones, R. Pérez Merlo y G. Mata. Manual práctico del cultivo de setas. Xalapa: Inecol, pp. 56, 2006.
- [12] D. Martínez-Carrera, A. Larqué, M. Aliphath, A. Aguilar, M. Bonilla y W. Martínez. La biotecnología de hongos comestibles en la seguridad y soberanía alimentaria de México. II Foro Nacional sobre Seguridad y Soberanía Alimentaria. Academia Mexicana de Ciencias-CONACYT, México, D. F. pp. 193-207, 2000.
- [13] W. F. Ríos-Ruiz, R. A. Valdez-Nuñez, y J. P. Jiménez-Flores, “Isolation, propagation and growth of native edible fungi in agroindustrial residues”, *Sci. Agropecu.*, vol. 8, núm. 4, pp. 327–335, 2017.
- [14] A. Alispahić, A. Sapcanin, M. Salihović, E. Ramić, A. Dedić, y Pazalja, “Phenolic content and antioxidant activity of mushroom extracts from Bosnian market”, *Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina* núm. 44, pp. 5-8, 2015.
- [15] S. Kumazawa, T. Hamasaka, y T. Nakayama, “Antioxidant activity of propolis of various geographic origins”, *Food Chem.*, vol. 84, núm. 3, pp. 329–339, 2004.
- [16] C. M. García P., B. A. Rojano, J. H. Gil G., D. L. Durango R., y L. R. Palomino G., “determinación del contenido de fenoles y evaluación de la actividad antioxidante de propóleos recolectados en el departamento de antioquia (Colombia)”, *Rev. Vitae*, vol. 16, núm. 3, pp. 388–395, 2009.
- [17] M. D. S. Fernández et al., “Chitosan-induced production of secondary metabolites in plant extracts of *Piper auritum*, and the in vitro fungicidal activity against *Fusarium oxysporum f. sp. vanillae*”, *Rev. Mex. Fitopatol.*, vol. 39, núm. 1, pp. 198–206, 2020.
- [18] S. Fazel, M. Hamidreza, G. Rouhollah, y M. Verdianrizi, “Spectrophotometric determination of total alkaloids in some Iranian medicinal plants”, *J. Appl. Hortic.*, vol. 12, núm. 01, pp. 69–70, 2010.
- [19] A. Łukowski, R. Jagiełło, P. Robakowski, D. Adamczyk, y P. Karolewski, “Adaptation of a simple method to determine the total terpenoid content in needles of coniferous trees”, *Plant Sci.*, vol. 314, núm. 111090, p. 111090, 2022.
- [20] [1] Elattar, S. Hassan, y A.- Sh, “Evaluation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivation using different organic substrates”, *Alex. Sci. Exch. J. Int. Q. J. Sci. Agric. Environ.*, vol. 40, núm. July-September, pp. 427–440, 2019.
- [22] A. Yilmaz, S. Yildiz, C. Kiliç, y C. A. N. Zehra, “Total phenolics, flavonoids, tannin contents and antioxidant properties of *Pleurotus ostreatus* cultivated on different wastes and sawdust”, *Int. j. second. metab.*, vol. 4, núm. 1, pp. 1–9, 2016.
- [22] B. Tudzynski, “Nitrogen regulation of fungal secondary metabolism in fungi”, *Front. Microbiol.*, vol. 5, p. 656, 2014.
- [22] Z. Girmay, W. Gorems, G. Birhanu, y S. Zewdie, “Growth and yield performance of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr.) Kumm (oyster mushroom) on different substrates”, *AMB Express*, vol. 6, núm. 1, p. 87, 2016.
- [23] Y. Beltrán Delgado, H. J. Morris Quevedo, D. Oliva Dominguez, P. Batista Corbal, y G. Llauro Maury, “Composición micoquímica y actividad antioxidante de la seta *Pleurotus ostreatus* en diferentes estados de crecimiento”, *Acta Biolo. Colomb.*, vol. 26, núm. 1, pp. 89–98, 2020.

- [24] S. M. Nabavi et al., “Flavonoid biosynthetic pathways in plants: Versatile targets for metabolic engineering”, *Biotechnol. Adv.*, vol. 38, núm. 107316, p. 107316, 2020.
- [26] Iwalokun et al., “Comparative phytochemical evaluation, antimicrobial and antioxidant properties of *Pleurotus ostreatus*”, *Afr. J. Biotechnol.*, vol. 6, núm. 15, pp. 1732–1739, 2007.
- [27] M.-Y. Kim et al., “Comparison of free amino acid, carbohydrates concentrations in Korean edible and medicinal mushrooms”, *Food Chem.*, vol. 113, núm. 2, pp. 386–393, 2009.
- [28] Z. Jin, Q. Hou, y T. Niu, “Effect of cultivating *Pleurotus ostreatus* on substrates supplemented with herb residues on yield characteristics, substrates degradation, and fruiting bodies’ properties”, *J. Sci. Food Agric.*, vol. 100, núm. 13, pp. 4901–4910, 2020.
- [29] S. Di Piazza, M. Benvenuti, G. Damonte, G. Cecchi, M. G. Mariotti, y M. Zotti, “Fungi and circular economy: *Pleurotus ostreatus* grown on a substrate with agricultural waste of lavender, and its promising biochemical profile”, *Recycling*, vol. 6, núm. 2, p. 40, 2021.
- [29] D. Tagkouli et al., “Volatile Profiling of *Pleurotus eryngii* and *Pleurotus ostreatus* Mushrooms Cultivated on Agricultural and Agro-Industrial By-Products”, *Foods*, vol. 10, núm. 6, p. 1287, 2021.

Detección de fitopatógenos a través de Compuestos Orgánicos Volátiles emitidos por plantas de tomate

Nancy Edith Lozoya Pérez¹, Juan Vázquez Martínez², Domancar Orona Tamayo¹, Elizabeth Quintana Rodríguez¹

¹ Soluciones tecnológicas y de Investigación, CIATEC, ² Tecnológico Nacional de México/ ITS Irapuato, nelppat@hotmail.com, juan.vm@irapuato.tecnm.mx, dorona@ciatec.mx y equintana@ciatec.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Las enfermedades ocasionadas por microorganismos siguen causando problemas en la productividad de las cosechas, por lo cual es de importancia su detección oportuna. El tomate es un cultivo gravemente afectado por diversas enfermedades; entre ellas, las ocasionadas por *Clavibacter michiganensis*, *Fusarium* sp. y el virus rugoso del tomate (ToBRFV). Las plantas emiten constitutivamente Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) que pueden cambiar de acuerdo a las condiciones del ambiente. Por lo que se propone en este estudio su uso como biomarcadores de enfermedades. Se analizaron de manera cualitativa los cambios en los perfiles de COVs emitidos por plantas de tomate infectadas con los patógenos mencionados a las 3,6 y 24 horas post infección con la finalidad de evaluar si había cambios por efecto de cada microorganismo. Se encontró que los perfiles de COVs cambian a las 3 hrs por efecto del patógeno y que hay COVs emitidos de manera específica para cada microorganismo.

Palabras clave: Fitopatógenos, COVs, SPME.

Abstract

Phytopathogens continue affecting field productivity for which is necessary their opportune detection. Tomato plants are affected by diverse diseases, among them with the causal agents *Clavibacter michiganensis*, *Fusarium* sp. and tomato rugose mosaic virus. Plants emit constitutively Volatile Organic Compounds (VOCs) according to the surrounding environment. This study proposes the use of VOCs as diseases biomarkers. We analyze VOCs emitted by tomato plants in response to the phytopathogens previously mentioned at 3,6 and 24 hours in order to evaluate changes caused for each microorganism. We found VOCs that are differential and exclusive for each phytopathogen and can be detected at 3 hours after infection.

Key words: Phytopathogen, VOCs, SPME, Biomarker

Introducción

El tomate es uno de los cultivos agrícolas más importantes en México, la producción nacional se ha incrementado durante los últimos años debido a la exportación que se hace principalmente a Estados Unidos y Canadá. El cultivo es propenso a diversas enfermedades que reducen su producción de un 70 a un 100%; entre estas se encuentran el cáncer bacteriano provocado por *Clavibacter michiganensis*, la marchitez vascular provocada por el hongo *Fusarium oxysporum* y la ocasionada por el virus rugoso del tomate (ToBRFV, por sus siglas en inglés). La observación de síntomas en las plantas es la estrategia más empleada para diagnosticar y tratar las enfermedades, lo cual no resulta apropiado ya que los síntomas suelen ser similares entre las afecciones. El manejo de estas enfermedades requiere de diagnósticos oportunos y confiables; por tanto, es fundamental recurrir a métodos de detección efectivos y tempranos. Los COVs que emiten las plantas cumplen múltiples funciones;

tal como, señales químicas para las plantas vecinas u otros organismos (polinizadores, acarreadores de semillas) [1]. Los COVs que las plantas emiten pueden cambiar diferencialmente por efecto de una invasión por herbívoros o por infecciones. Se ha encontrado que las plantas infectadas liberan mezclas de aromas que difieren de las plantas sanas, por lo que los que estos compuestos pueden ser usados para detectar enfermedades [2]. Por ejemplo, plantas infectadas con bacterias muestran un cambio en su perfil de COVs, manzanos mostraron una emisión de aromas alterada por efecto de la bacteria *Erwinia amylovora* [3]. De la misma manera, los hongos pueden cambiar el perfil de VOCs; plantas de *Platycladus orientalis* infectadas con el hongo *Alternaria alternata* mostraron una emisión de VOCs diferencial por efecto de la infección fúngica; encontrando VOCs como (z)-3-hexenol, n-hexanol, α -pinene y β -pineno los cuales pueden ser usados como biomarcadores para esta infección [4]. Por otro lado, árboles de banana infectados con el virus banana bunchy top incrementaron la emisión de volátiles por efecto de este [5]. Por lo que los VOCs constituyen una fuente valiosa de información que pueden ser usados y altamente valorados en la agricultura moderna de precisión para la detección de enfermedades. En este trabajo evaluamos los VOCs emitidos en plantas de tomate en respuesta a tres fitopatógenos bacteria (*C. michiganensis*), hongo (*Fusarium* sp.) y virus ToBRFV (Virus rugoso del tomate) con la finalidad de investigar si los VOCs pueden ser diferenciales para cada fitopatógeno. Se realizó un muestreo de los VOCs a las 3,6 y 24 h y se compararon con marcadores moleculares específicos para cada microorganismo.

Metodología

Material biológico

La bacteria *C. michiganensis* pertenece al cepario de CIATEC y mantenida en agar nutritivo. Mientras que el hongo *Fusarium* fue aislado de plantas enfermas de tomate y su identidad fue determinada mediante secuenciación; este fue mantenido en agar PDA. Igualmente, el virus rugoso de tomate provenía de plantas de tomate infectadas y analizado mediante el uso de oligonucleótidos específicos para este.

Plantas de tomate variedad Cherry fueron donadas por la empresa Productomat de Acámbaro, Gto y mantenidas en invernadero. Las plantas recibieron riego cada tercer día y fueron fertilizadas con Ferti Plus más cada 15 días.

Inoculación de fitopatógenos

Inoculación con *C. michiganensis*

La cinética de crecimiento de la bacteria fue analizada mediante cultivos en medio líquido LB donde se tomaron muestras cada hora y se midieron en un espectro de luz UV a una longitud de onda de 600nm. Mediante la curva de crecimiento, se tomó muestra en la fase exponencial de la bacteria para llevar a cabo la inoculación en las plantas de tomate mediante aspersión.

Inoculación de *Fusarium* sp.

Se tomaron cultivos en medio sólido para recuperar esporas las cuales fueron medidas en cámara de Neubauer para alcanzar una concentración de 1×10^6 células. Esta solución fue asperjada sobre plantas de tomate.

Inoculación de virus de tomate

En plantas infectadas con el virus se colectaron hojas, se pesaron y se molieron en un mortero, se agregó agua destilada estéril en una proporción 1:10 (1 g de hojas en 10 mL de agua) y se macero hasta obtener una mezcla homogénea. Se aplicó este macerado mediante el uso de un pincel en las hojas de plantas sanas de tomate.

Colecta de volátiles

Las plantas inoculadas con los patógenos fueron colocadas dentro de bolsas (Bratenschlauch[®]: Toppits, www.toppits.de) las cuales se sabe que no emiten aromas. Los VOCs fueron colectados mediante un sistema de microextracción en fase sólida (SPME, Solid Phase MicroExtraction). Dentro de las bolsas se colocaron fibras SPME (2 cm, carboxen/Polidivinilsiloxano/carbowax; Supelco, Bellefonte, PA, USA) y fueron expuestas por periodos de 3, 6 y 24 horas a los VOCs provenientes de plantas inoculadas con los fitopatógenos. Como control,

se utilizaron plantas sanas. Las fibras fueron desorbidas por 30 s directamente en el puerto de inyección de un cromatógrafo de gases a una temperatura de 180 °C. Los aromas se analizaron mediante cromatografía de gases acoplado a masas (Agilent 7890 cromatógrafo de gases en interfase con detector de ionización electrónica masa-selectivo de triple eje Agilent 5975; Agilent Technologies, Santa Clara CA, USA). El programa de temperatura usado para el análisis fue el siguientes: temperatura inicial de 60°C, la cual se incrementó a 80 °C a 210°C a 8 °C min⁻¹ y se mantuvo a 210 °C por 5 min. Los compuestos fueron identificados usando la biblioteca de espectros de masas National Institute of Standards and Technology (NIST).

Identificación molecular de los fitopatógenos

Plantas fueron inoculadas como se explicó anteriormente y se tomó tejido a las 0,3, 6 y 24 hrs posterior a la inoculación. Se tomó como control negativo plantas de tomate libres de virus.

Identificación molecular de la bacteria

El tejido tomado fue molido con mortero y posteriormente se resuspendió en 500 µL del regulador de lisis (SDS, 1%; EDTA, 50 mM, Tris pH 8.0, 100 mM). Se rompieron las células mecánicamente usando perlas de vidrio y agitando las muestras en vórtex durante 3 min. Se añadieron 275 µL de acetato de amonio 7 M y se incubaron las muestras a 65°C por 5 min y en baño de hielo por otros 5 min. Se adicionaron 500 µL de mezcla cloroformo: alcohol isoamílico (24:1), se realizó la extracción agitando por inversión y centrifugando durante 10 min a 9485 x g. Se recuperó la fase acuosa, se adicionó un volumen de isopropanol y se incubó a -20°C durante 10 min. El DNA se recuperó por centrifugación a 9485 x g por 10 min, se retiró el sobrenadante y se lavó la pastilla dos veces con etanol al 70%. Una vez se hubo secado, el DNA se resuspendió en 100 µL de agua con RNAsa (10 µg mL⁻¹). El DNA genómico obtenido fue cuantificado por espectrofotometría utilizando un UV-Vis Spectrophotometer Q5000 (Quawell). Se utilizaron 2 µL de muestra para realizar la medición utilizando agua-DEPC como blanco. Se diseñaron oligonucleótidos en base a las secuencias reportadas para los genes de patogenicidad (*patI*) y ARN polimerasa subunidad β (*rpoB*) de *C. michiganensis*: *patI*dir (ATATGTCGTTACCGCGAAGC)/*patI*rev (CGTCGCATATTACACCGATGAT) con un tamaño esperado de amplificación de 450 pb; *rpoB*dir (CCGTTTCATCTTCGTCTCGTT)/*rpoB* rev (CCTACTCCGCTCCCCTCTAC) con un tamaño de amplificación esperado de 662 pb.

Para realizar la reacción en cadena de la polimerasa se requirió de: 100 ng µL⁻¹ a 200 ng µL⁻¹ del DNA aislado, 15 µg µL⁻¹ de los oligonucleótidos específicos (reverso y directo), 2.5 µL de amortiguador 10X DreamTaq (MgCl₂ 20mM), 0.5 µL de deoxinucleótidos trifosfatos (dNTPs) 2.5 mM, y 0.2 µL de la enzima (DreamTaq 5U µL⁻¹), la reacción se llevó a un volumen final de 25µL con agua libre de DNasa y RNasa. Las condiciones de amplificación fueron: temperatura de alineamiento 55 °C, y 30 segundos de extensión, durante 30 ciclos.

Los productos de PCR fueron observados mediante electroforesis horizontal, cargando una alícuota en un gel de agarosa. Cada muestra contenía el ácido nucleico y amortiguador de carga 6X (ésta se preparó con 0.25% p/v de orange G y 30% de glicerol estéril en agua desionizada estéril) en proporción (3:1) v/v. La concentración de agarosa del gel varió (0.8% a 1%) en función del tamaño del ácido nucleico. Para la detección de éste se empleó bromuro de etidio a una concentración de 20 ng µL⁻¹, el cual se polimerizó junto con la agarosa. Como amortiguador de la disolución de la agarosa y de corrida de la electroforesis se empleó TAE 1X y como marcadores de peso molecular se emplearon marcadores lineales de 1Kb (Thermo Scientific). Los geles fueron analizados en el foto-documentador Gel Logic 112.

Identificación molecular del hongo

La extracción de DNA fue llevada a cabo tal como se describió para la bacteria *C. michiganensis*. Para la obtención de los productos de amplificación por PCR se siguieron las siguientes condiciones: temperatura de alineamiento de 60 °C, el tiempo de extensión fue de 20 seg y se usaron 30 ciclos. Las secuencias de oligonucleótidos para *Fusarium* basados en gen *pg1* endo-poligalacturonasa raza 1 y 3 445p fueron las siguientes: directo 5'ACATACCACTTGTTGCCTCG 3' y reverso 5' CGCCAATCAATTTGAGGAACG 3'.

Identificación molecular del virus

Para la identificación molecular del virus se extrajo el RNA total de todas las muestras. Posteriormente, se llevó a cabo la preparación de DNA complementario. Con este DNA complementario se llevó a cabo la amplificación de sondas específicas para la detección de ToBRFV.

Para la obtención de los productos de amplificación por PCrR se siguieron las siguientes condiciones: temperatura de alineamiento de 57 °C, el tiempo de extensión fue de 30 seg y se usaron 30 ciclos. Las secuencias de oligonucleótidos para ToBRFV basados en gen rlp replicasa de 475 pb: directo 5´AACCAGAGTCTTCCTATACTCGGAA 3´ y reverso 5´CTCTCCATCTCTTAATAATCTCCT 3´.

Resultados y discusión

Identificación del perfil de VOCs en plantas inoculadas con la bacteria *C. michiganensis*

En las plantas inoculadas con la bacteria *C. michiganensis* fue posible detectar un cambio en los perfiles de VOCs desde las 3 horas posteriores a la inoculación (Tabla 1). Encontramos VOCs emitidos solamente por las plantas infectadas con la bacteria y no en el control; tal como, terpineno, cimol, copaeno. Este efecto también fue observado en plantas de tomate en respuesta a herbívoros donde se encontraron VOCs específicos para los herbívoros probados [6]. Mientras que en plantas de tomate infectadas con la bacteria *Pseudomonas syringae* DC3000 pv. tomato se encontraron volátiles diferenciales en respuesta a la enfermedad, entre ellos monoterpenos hidroxilados tal como en este trabajo [7]. Estos volátiles son emitidos por las plantas para mediar interacciones con patógenos y herbívoros, muchos de estos presentan actividades antimicrobianas como mecanismo de defensa de la planta [8].

Tabla 1. Lista de VOCs encontrados en plantas de tomate infectadas con la bacteria *C. michiganensis*

Tiempo de retención	Compuesto	Presencia
16.045	Ocimeno	CM3, F24, V3
16.480	Terpineno	CM3, CM6, CM24, F6, F24
16.924	Cimol	CM3, CM6, CM24, F6, F24, V3, V6, V24
17.205	Limoneno	Control CM3, CM6, CM24
17.640	Terpineno	F6, F24
23.507	Verbenona	V3, V6, V24
23.757	Farnesol	V3, V6, V24
23.813	δ -elemeno	CM3, CM6, CM24, F6, F24
24.444	Copaeno	CM3, CM6, CM24
24.578	β -elemene	CM3, CM6, CM24
25.058	Cariofileno	Control CM3, CM6, CM24, F6, F24
25.274	(-)-Aristoleno	CM3
27.379	Aromandreno	F6, F24

CM: plantas de tomate inoculadas con *C. michiganensis* a las 3,6 y 24 horas; F: *Fusarium* 6 y 24 horas y V: virus ToBRFV 3,6 y 24 horas.

Identificación del perfil de VOCs en plantas inoculadas con el hongo *Fusarium* sp.

Plantas inoculadas con el hongo *Fusarium* mostraron compuestos diferenciales a las 6 horas posteriores a la infección (Tabla 1). Plantas de *Carex arenaria* cambiaron su perfil de VOCs en respuesta a el hongo *Fusarium* sp.[11]. Mientras que plantas de frijol inoculadas con el hongo *Colletotrichum lindemuthianum* mostraron cambios en el perfil de VOCs en corto tiempo [12]. El compuesto aromandreno fue detectado exclusivamente en plantas infectadas con el hongo a las 24 horas. Tal como se menciona, estos compuestos pueden constituir parte del mecanismo de defensa de la planta. Aromandreno fue reportado en el volatilo de la planta *Larrea divaricata* como uno de los VOCs mayoritarios; en la fase de vapor del extracto de la planta mostró actividad antifúngica contra el hongo *Monilinia fructicola* [9].

Identificación del perfil de VOCs en plantas inoculadas con el virus ToBRFV

Las plantas infectadas con ToBRFV mostraron cambios en los perfiles de VOCs desde las 3 horas post infección (Tabla 3). Entre estos compuestos encontramos al terpeno verbenona, este ha sido reportado como una feromona de antiagregación de insectos la cual es emitida por plantas para protección contra insectos[13]. La mosca blanca es la principal transmisora del virus ToBRFV por lo que tal vez la planta lo emite como mecanismo de defensa.

Identificación molecular

Para contrastar la detección por VOCs, se llevó a cabo la detección molecular. Para el caso de la bacteria *C. michiganensis* su detección no se consiguió en tiempos tempranos incluso no se detectó a los 7 post infección (figura 1). La detección del hongo fitopatógeno *Fusarium* tampoco pudo ser posible en tiempos tempranos;

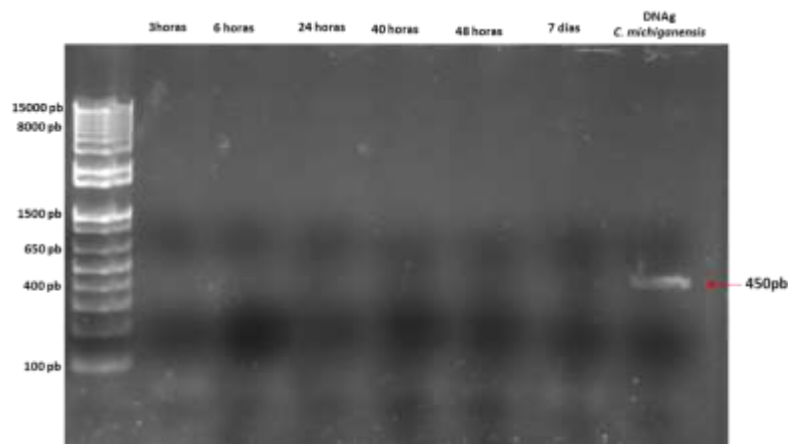


Figura 1. Productos de amplificación de un fragmento del ORF del gen patI de *C. michiganensis*. Se puede observar un producto de amplificación de 450 pb a partir de DNAg. Se analizaron plántulas de tomate diferentes tiempos post infección. Como control se utilizó el DNAg de *C. michiganensis*.

Mientras que, para *Fusarium* sp. no fue posible detectar este patógeno durante las primeras 24 horas de la infección (Figura 2).

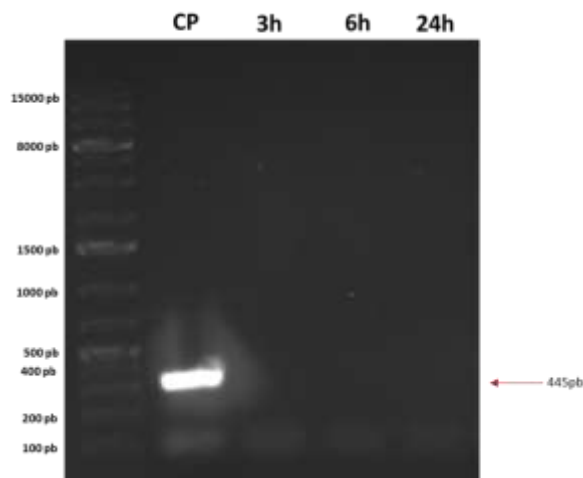


Figura 2. Detección molecular de *Fusarium* sp. MPM: marcador de peso molecular, CP: control positivo (cultivo de hongo axénico), 3h: plantas 3 horas post infección, 6h: plantas 6 horas post infección y 24h: plantas 24 horas post infección.

Para el virus ToBRFV, la detección fue posible hasta 15 días posteriores a la infección (Figura 3).

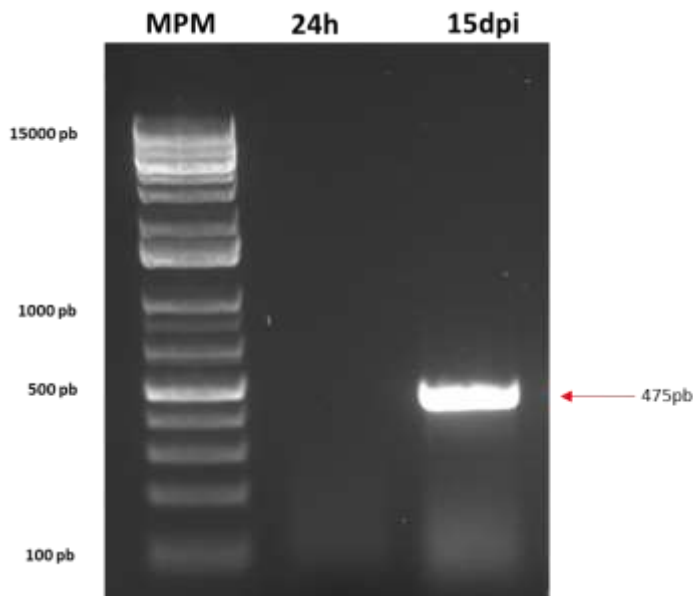


Figura 3. Detección molecular de virus ToBRFV. MPM: marcador de peso molecular, 24h: plantas 24 horas post infección y 15dpi: plantas con 15 días post infección.

Por lo que pudimos observar que el cambio en el perfil de VOCs es mucho más rápido que la detección molecular.

Trabajo a futuro

Con los resultados obtenidos se propone la elaboración de un sensor que sea capaz de detectar los cambios en los perfiles de VOCs de plantas de tomate.

Conclusiones

Fue posible la identificación de VOCs exclusivos para cada fitopatógeno que se postulan como biomarcadores tempranos de enfermedades. Estos pudieron detectarse aún antes que los marcadores moleculares.

Agradecimientos

Agradecemos al Instituto de Innovación, Ciencia y Emprendimiento para la Competitividad para el Estado de Guanajuato (Idea GTO) por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo mediante la convocatoria ciencia productiva. Igualmente agradecemos a la empresa Productomat de Acámbaro, Gto. por la colaboración en este proyecto proporcionando material biológico (plántulas de tomate) e insumos para su mantenimiento.

Referencias

- [1] V. Ricciardi *et al.*, "From plant resistance response to the discovery of antimicrobial compounds: the role of volatile organic compounds (VOCs) in grapevine downy mildew infection," *Plant Physiol. Biochem.*, vol. 160, pp. 294–305, 2021.
- [2] M. Huang *et al.*, "The major volatile organic compound emitted from *Arabidopsis thaliana* flowers, the sesquiterpene (E)- β -caryophyllene, is a defense against a bacterial pathogen," *New Phytol.*, vol. 193, no. 4, pp. 997–1008, 2012.
- [3] A. Cellini *et al.*, "Early detection of bacterial diseases in apple plants by analysis of volatile organic compounds profiles and use of electronic nose," *Ann. Appl. Biol.*, vol. 168, Feb. 2016, doi: 10.1111/aab.12272.
- [4] C. Zheng, Q. Zhou, W. Shao, J. Zhang, and J. Wang, "Early identification of fungal leaf blight disease (*Alternaria alternata*) on *Platycladus orientalis* plants by using gas chromatography-ion mobility spectrometry," *Microchem. J.*, vol. 179, p. 107505, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.107505>.
- [5] I. Safari Murhububa *et al.*, "Banana Tree Infected with Banana Bunchy Top Virus Attracts *Pentalonia nigronervosa* Aphids Through Increased Volatile Organic Compounds Emission," *J. Chem. Ecol.*, vol. 47, no. 8, pp. 755–767, 2021, doi: 10.1007/s10886-021-01298-3.
- [6] D. B. Silva, B. T. Weldegergis, J. J. A. Van Loon, and V. H. P. Bueno, "Qualitative and quantitative differences in herbivore-induced plant volatile blends from tomato plants infested by either *Tuta absoluta* or *Bemisia tabaci*," *J. Chem. Ecol.*, vol. 43, no. 1, pp. 53–65, 2017.
- [7] M. P. López-Gresa *et al.*, "A non-targeted metabolomics approach unravels the VOCs associated with the tomato immune response against *Pseudomonas syringae*," *Front. Plant Sci.*, vol. 8, p. 1188, 2017.
- [8] E. Quintana-Rodriguez, L. E. Rivera-Macias, R. M. Adame-Alvarez, J. M. Torres, and M. Heil, "Shared weapons in fungus-fungus and fungus-plant interactions? Volatile organic compounds of plant or fungal origin exert direct antifungal activity in vitro," *Fungal Ecol.*, vol. 33, pp. 115–121, 2018.
- [9] J. Boiteux, C. Monardez, M. de los Á. Fernández, M. Espino, P. Pizzuolo, and M. F. Silva, "Larrea divaricata volatiles and antimicrobial activity against *Monilinia fructicola*," *Microchem. J.*, vol. 142, pp. 1–8, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.06.011>.

- [10] L. Pinto, M. A. Bonifacio, E. De Giglio, S. Cometa, A. F. Logrieco, and F. Baruzzi, "Unravelling the antifungal effect of red thyme oil (*Thymus vulgaris* L.) compounds in vapor phase," *Molecules*, vol. 25, no. 20, p. 4761, 2020.
- [11] K. Schulz-Bohm, S. Gerards, M. Hundscheid, J. Melenhorst, W. de Boer, and P. Garbeva, "Calling from distance: attraction of soil bacteria by plant root volatiles," *ISME J.*, vol. 12, no. 5, pp. 1252–1262, 2018.
- [12] M. A. Rojas-Raya, O. F. Hernández-Zepeda, E. Quintana-Rodríguez, and M. Heil, "¿Cómo detectar a un invasor," *JÓVENES EN LA Cienc.*, vol. 3, pp. 76–80, 2018.
- [13] C. J. Fettig and A. S. Munson, "Efficacy of verbenone and a blend of verbenone and nonhost volatiles for protecting lodgepole pine from mountain pine beetle (Coleoptera: Curculionidae)," *Agric. For. Entomol.*, vol. 22, no. 4, pp. 373–378, 2020.

Niveles atmosféricos de BTEX y riesgo a la salud en Ciudad del Carmen, Campeche

A. Vichique Morales^{1*}, J.G. Cerón Bretón¹, R.M. Cerón Bretón¹, R.C. Lara Severino², T.C. Morales Rasgado³

¹ Universidad Autónoma del Carmen. Facultad de Química. Calle 56 núm. 4, Esq. Ave. Concordia, C.P. 24180, Ciudad del Carmen, Campeche

² Universidad Autónoma del Carmen. Facultad de Ciencias de la Salud, Av. Central s/n, Mundo Maya, Ciudad del Carmen, Campeche

³ Grupo México. Casa Grande. Av. Aviación 137, Col. Aviación, C.P. 24170, Ciudad del Carmen, Campeche.

* 153321@mail.unacar.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Se midieron benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX) en aire ambiente del sitio urbano Ciudad del Carmen, Campeche durante la primavera 2022. Las muestras se colectaron en horarios, de 7-8 h, 14-15 h y de 18-19 h en tubos de vidrio empacados con carbón activado, con flujo controlado de aire de 1.5 L/min durante 1 hora. Las muestras fueron analizadas por cromatografía de gases con detección de ionización de flama. La abundancia relativa en aire ambiente: benceno ($9.197 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > tolueno ($8.953 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > xilenos ($7.789 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > etilbenceno ($7.538 \mu\text{g}/\text{m}^3$). A partir del análisis de correlaciones los BTEX mostraron fuertes correlaciones entre sí, originados por fuentes en común. Del análisis meteorológico los vientos dominantes soplaron desde el Este y Sureste, las emisiones vehiculares de avenidas localizadas pudieron contribuir a los niveles. Del análisis de riesgo a la salud se encontró riesgo posible de desarrollar cáncer en el tiempo de vida a las concentraciones medidas.

Palabras clave: BTEX, Cromatografía de gases, correlaciones, riesgo a la salud

Abstract

Benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes (BTEX) were measured in ambient air from the urban site Ciudad del Carmen, Campeche during spring 2022. Samples were collected at 7-8 h, 14-15 h and 18-19 h in glass tubes packed with activated carbon, with controlled air flow of 1.5 L/min for 1 hour. Samples were analyzed by gas chromatography with flame ionization detection. The relative abundance in ambient air: benzene ($9.197 \text{g}/\text{m}^3$) > toluene ($8.953 \text{g}/\text{m}^3$) > xylenes ($7.789 \text{g}/\text{m}^3$) > ethylbenzene ($7.538 \text{g}/\text{m}^3$). From the correlation analysis the BTEX showed strong correlations with each other, originating from common sources. From the meteorological analysis the prevailing winds blew from the east and southeast, vehicular emissions from localized avenues may have contributed to the levels. From the health risk analysis, a possible lifetime risk of developing cancer was found at the measured concentrations.

Key words: BTEX, gas chromatography, correlation, health risk.

Introducción

La contaminación atmosférica se ha convertido en un tema de interés para la comunidad científica y la población civil, debido a que en diferentes estudios se ha comprobado que la mala calidad del aire está íntimamente relacionada con la salud de la población, provocando enfermedades respiratorias y algunos tipos de cáncer [1]. Factores comunes como el uso de combustibles fósiles y plantas de energía a carbón, la dependencia de los vehículos de motor de transporte privado, el uso ineficiente de la energía en los edificios, y el uso de la biomasa para cocinar y calentarse, producen los llamados Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) también llamados VOC

por sus siglas en inglés (Volatile organic compounds) [2]. Dentro de los COV se encuentra un grupo denominado BTEX, cuyas siglas significan Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos, los cuales pueden ser utilizados como marcadores de daños a la salud humana, considerando tantos efectos carcinogénicos como no carcinogénicos (enfermedades respiratorias y cardiovasculares), además, brindan información sobre el grado de exposición del cuerpo humano ante los efectos nocivos de los COV; bajo apropiadas condiciones meteorológicas son precursores de las reacciones que conllevan a la generación de ozono troposférico [3].

Benceno es un compuesto altamente tóxico, llegando a ser mielotóxico e inductor de leucemia en humanos, ha sido identificado como un cancerígeno humano por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (International Agency for Research on Cancer), por lo que la OMS y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) no recomiendan ningún nivel seguro de exposición [4]. Con el fin de evaluar la calidad del aire es indispensable establecer medidas cuantitativas, es decir, medir las concentraciones de los BTEX presentes en la atmósfera. Estos indicadores permiten evaluar el estado de la contaminación atmosférica y a su vez comunicar a la población la calidad del aire al que están expuestos. Actualmente en diferentes ciudades del mundo los BTEX son monitoreados, sin embargo, en México a pesar de los riesgos y consecuencias que se tienen por la exposición a estos contaminantes, no se cuenta con legislación que regule las emisiones de COV, únicamente las emisiones que se encuentran normadas son los contaminantes criterio. El presente trabajo está enfocado en determinar los niveles de BTEX en aire ambiente de un sitio urbano en Ciudad del Carmen, Campeche durante la estación de primavera 2022, colectando las muestras mediante muestreo activo y analizándolas por cromatografía de gases, se identificaron sus probables fuentes de origen mediante un análisis meteorológico (a partir de la elaboración de rosas de viento usando el software WRPLOT) y análisis de componentes principales (ACP), por último se determinará la exposición diaria (E), el riesgo de cáncer en el tiempo de vida (ILTCR) y el potencial de riesgo de no cáncer (HQ: potencial de desarrollar enfermedades respiratorias y cardiovasculares).

Metodología

Descripción del sitio

El muestreo se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma del Carmen en las instalaciones del centro de idiomas con coordenadas ubicado 18.645502° de latitud Norte y -91.817140° de longitud Oeste, durante la temporada de primavera (del 6 al 10 de junio de 2022), seleccionándose este periodo por ser época de secas y cuando se presentan las velocidades del viento más bajas, lo cual dificulta la dispersión de los contaminantes lo cual deriva en mayores concentraciones de éstos y mayor riesgo en la población vía inhalación. En este sitio se realizaron tres muestreos por día, el primero en horario de la mañana de 7:00 a 8:00 am, el segundo en horario vespertino de 2:00 a 3:00 pm y el tercero en la noche e 6:00 a 7:00 pm. En cada muestreo se tomaron datos de temperatura, presión, dirección del viento, índice de radiación y humedad. Es importante recalcar que se pretende hacer el monitoreo durante todo el año 2022 contemplando las estaciones de verano, otoño e invierno.

Muestreo de BTEX en aire ambiente

Las muestras fueron recolectadas del 6 al 10 de junio de 2022 para determinar las concentraciones de BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y p-xileno) en aire ambiente mediante muestreo activo haciendo pasar aire a través de tubos de vidrio empacados con carbón activado (226-01 Anasorb CSC), a un flujo constante y controlado de 1.5 $Lmin^{-1}$ por medio de una bomba de vacío SKC modelo PCXR4 [4]. El muestreo tuvo una duración de 1.0 horas para cada muestra considerando tres diferentes periodos de acuerdo con la actividad poblacional observada en la ciudad: durante la mañana (B1: 07:00 a 08:00 h), mediodía (B2: 14:00 a 15:00), tarde (B3: 18:00 a 19:00 h).

Análisis de muestras por cromatografía de gases con detección de ionización de flama (CG-DIF)

La desorción de las muestras se llevó a cabo en viales de vidrio con tapón sellado con 1 mL de disulfuro de carbono. Las muestras fueron analizadas con base en el método "Determinación de hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno, etilbenceno, p-xileno) en aire-Método de adsorción en carbón activo/cromatografía de gases MTA/MA-030/A92, del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene, España. El análisis cromatográfico de las muestras colectadas se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación de Cromatografía de gases en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Carmen. Se usó un cromatógrafo de gases TRACE GC Ultra Gas Chromatographs marca Thermoscientific en modo splitless, acoplado a un detector de ionización de flama usando

aire extra seco e hidrógeno de ultra alta pureza y nitrógeno ultra puro como gas acarreador. La columna capilar que se empleó fue de 30 m x 0.32 mm ID, tipo metil de sílica fundida y con un espesor de película de 0.5 μm .

Análisis estadístico

Se llevaron a cabo análisis de normalidad para determinar si se aplicaba estadística paramétrica o no paramétrica. Se aplicaron pruebas de hipótesis para determinar si existieran diferencias significativas en las concentraciones de BTEX en los diferentes horarios de muestreo (Prueba de Levine y Prueba de Bartlett) y se llevaron a cabo análisis bi-variados (análisis de correlación de Pearson) y análisis multivariados (Análisis de componentes principales: ACP) para determinar si existieran relaciones entre las diferentes variables medidas. El software utilizado fue XLSTAT para Excel versión 2016.

Análisis meteorológico

Se llevó a cabo el análisis de la frecuencia de ocurrencia de los vientos (dirección y velocidad) para cada día del periodo de muestreo. Se construyeron las rosas de viento diarias usando la herramienta estadística WindRose del Air Resource Laboratory (ARL) de la NOAA. A continuación, se muestra una rosa de vientos típica representativa del periodo de muestreo (Figura 1), como puede observarse, los vientos dominantes soplaron desde el Este y Sureste a velocidades de 1 – 4 m/s, indicando que fuentes localizadas en esta dirección pudieron contribuir a los niveles de BTEX medidos. Al Este se localiza la Avenida Periférica, esta avenida comunica a la Isla con la parte continental hacia el Estado de Tabasco, por lo que es una avenida con alto flujo de tráfico vehicular, incluyendo tráfico pesado. Mientras que al Sureste se localiza la Avenida 31, la cual comunica de este a oeste la ciudad. Ambas avenidas constituyen dos de las principales avenidas con tráfico vehicular importante sobre todo en horas pico (por las mañanas cuando la población se transporta hacia sus lugares de trabajo y por las tardes cuando el flujo de tráfico es de vuelta a los hogares procedentes de sus sitios de trabajo).

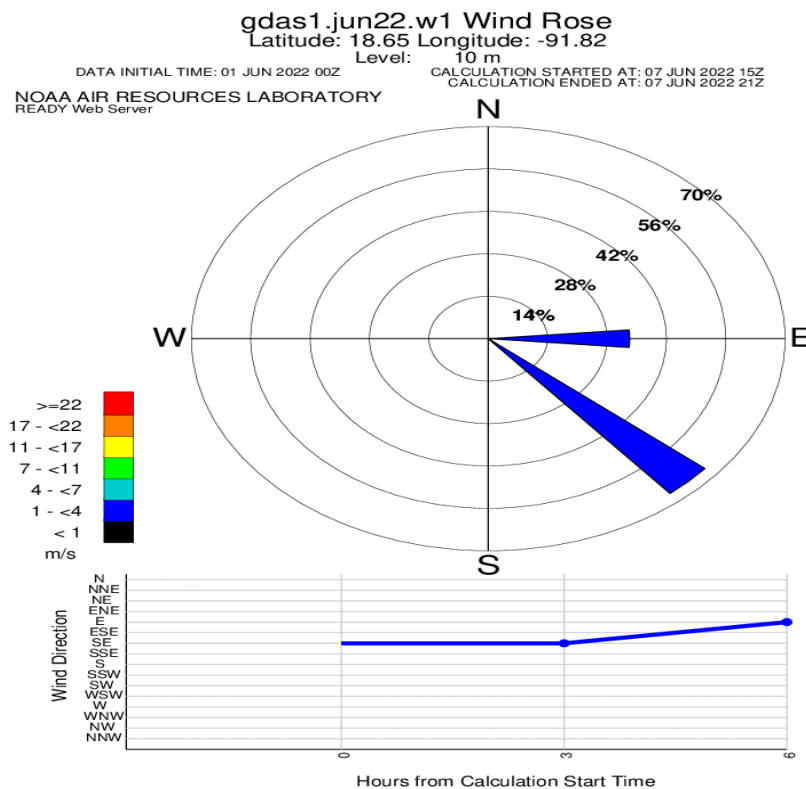


Figura 1. Rosa de vientos representativa para el periodo de muestreo en el sitio de estudio.

Análisis de Riesgo a la Salud

El potencial carcinogénico de benceno es ampliamente conocido [5]. La Unión Europea recomienda un límite anual de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para benceno en aire ambiente y el nivel de riesgo mínimo de cáncer por inhalación (Minimal Risk Level: MRL de 1 en 10,000), mientras que la EPA establece un valor de 4.0 ppbv para este contaminante (b)

[6]. En este estudio se usó la metodología propuesta por [5] para determinar la exposición diaria (E), el riesgo de cáncer en el tiempo de vida (LTCR) y el potencial de no riesgo de cáncer (HQ).

La exposición diaria de un individuo por inhalación puede ser calculada como [5]:

$$E = \frac{C \times IRa \times Da}{BW} \quad (1)$$

Dónde: E = es la exposición diaria por inhalación en mg/kg por día., C = es la concentración promedio de benceno en mg/m^3 ., IRa = es la tasa de inhalación de un adulto ($0.83 m^3 h^{-1}$) [6], Da = es la duración de la exposición (24 y 16 $hr/día$, para adultos y niños, respectivamente). BW = es el peso del cuerpo (65 y 36 kg para adultos y niños, respectivamente). El riesgo de cáncer en el tiempo de vida (The lifetime cancer risk: LTCR) es calculado como:

$$LTCR = E \times SF \quad (2)$$

Dónde: $LTCR$ = es el riesgo de cáncer en el tiempo de vida., SF = es el factor de la pendiente de riesgo ($2.98 E^{-02} kg \text{ día}/mg$). El factor de la pendiente de riesgo por inhalación de tóxicos (SF), es cuando el efecto carcinogénico por exposición es considerado como lineal. Se considerará un valor de SF de $2.98 E^{-02} kg \text{ día}/mg$ para benceno de acuerdo con la [6]. Los valores determinados se compararon con los valores límite permisibles establecidos por la EPA y la OMS (1×10^{-6}).

El riesgo no cancerígeno de benceno es medido como un cociente de riesgo, se calcula como:

$$HQ = \frac{C}{RfC} \quad (3)$$

Dónde: HQ = es el riesgo no cancerígeno de benceno., C = es la concentración recibida diariamente en un promedio anual., RfC = es la concentración de referencia de inhalación en mg/m^3 . Los valores de RfC son tomados de [6]: 0.03, 5, 1 y $0.1 mg/m^3$ para benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos, respectivamente. Los valores del coeficiente de riesgo no carcinogénico (HQ) calculados, se compararon con los valores límites establecidos como aceptables por la EPA y la OMS (1.0).

Resultados y discusión

Concentraciones de BTEX en aire ambiente en el sitio de estudio

Las figuras 2 y 3 muestran la estadística paramétrica y el boxplot para las concentraciones de benceno y tolueno, así como para etilbenceno y xilenos, respectivamente, en el sitio de estudio durante la temporada de verano de 2022. La abundancia relativa de BTEX en aire ambiente del sitio de estudio fue la siguiente: benceno ($9.197 \mu g/m^3$) > tolueno ($8.953 \mu g/m^3$) > xilenos ($7.789 \mu g/m^3$) > etilbenceno ($7.538 \mu g/m^3$). De acuerdo con las figuras 2 y 3 puede observarse que los BTEX tuvieron un patrón diurno, mostrando mayores valores de concentración durante el medio día y por la tarde y con menores valores de concentración durante la mañana. Esto era de esperarse, ya que la mayor movilidad de la población en esta zona es durante el medio día y por las tardes, debido a que en esta área se ubican zonas comerciales, bancos y restaurantes, mostrando una mayor movilidad de la población durante el medio día y tarde. Los resultados son comparables a los obtenidos en otros sitios de estudio (Tabla 1). Como puede observarse benceno y etilbenceno mostraron mayores concentraciones que el estudio llevado 10 años antes en el mismo sitio [8], mientras que tolueno y xilenos mostraron un decremento. Las concentraciones de benceno en este estudio fueron comparables a los valores reportados por en Beijing, China, pero mayores que las reportadas para León, Guanajuato y Ciudad de México (Tabla 1). Tolueno presentó valores menores que los reportados en León y Ciudad de México pero menores que los reportados para Ciudad de México, de acuerdo a la Tabla 1. Etilbenceno presentó concentraciones mayores que Beijing, China pero menores que lo reportado para la ciudad de León, Guanajuato. Finalmente, xilenos, en este estudio presentaron concentraciones mayores a las reportadas para las ciudades de Beijing y León (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de los resultados encontrados para BTEX en Ciudad del Carmen con otros estudios

Sitio	Benceno $\mu g/m^3$	Tolueno $\mu g/m^3$	Etilbenceno $\mu g/m^3$	Xilenos $\mu g/m^3$	Referencia
Ciudad del Carmen, 2022	9.19	8.95	7.55	7.78	Este estudio
Ciudad del Carmen, 2012	5.42	11.23	3.97	8.32	Cerón et al. [8]
León, Guanajuato, 2018	1.73	11.85	11.86	3.31	Cerón et al. [9]
Ciudad de México, 2002	3.67	17.63	-	-	Baez et al. [10]
Beijing, China, 2012	9.2	1.39	0.42	1.27	Zhang et al. [11]

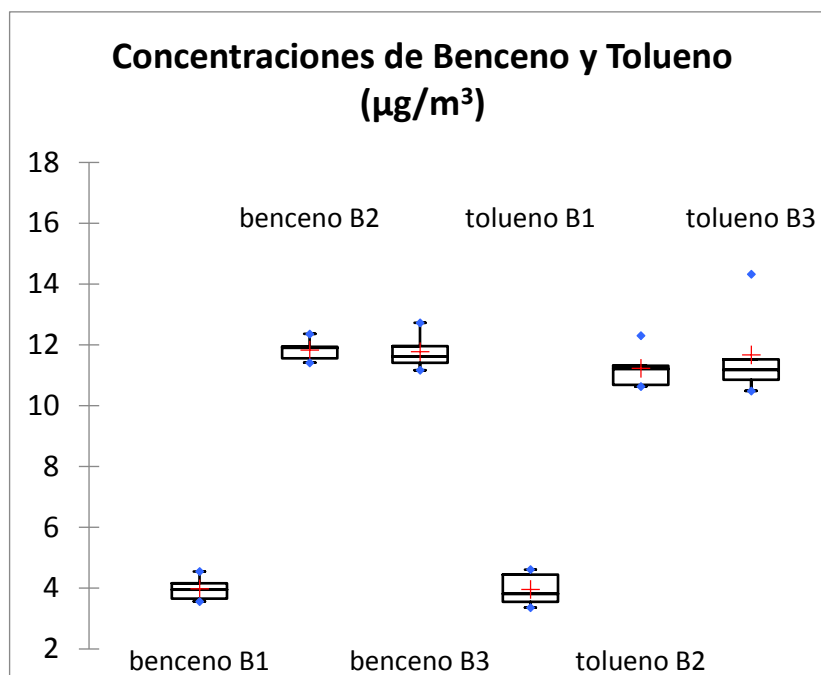


Figura 2. Estadística paramétrica y boxplot para las concentraciones de benceno y tolueno en el sitio de estudio durante la temporada de verano de 2022. B1: muestreo de 07:00 – 08:00 h; B2: muestreo de 14:00-15:00 h; B3: muestreo de 18:00 – 19:00 h.

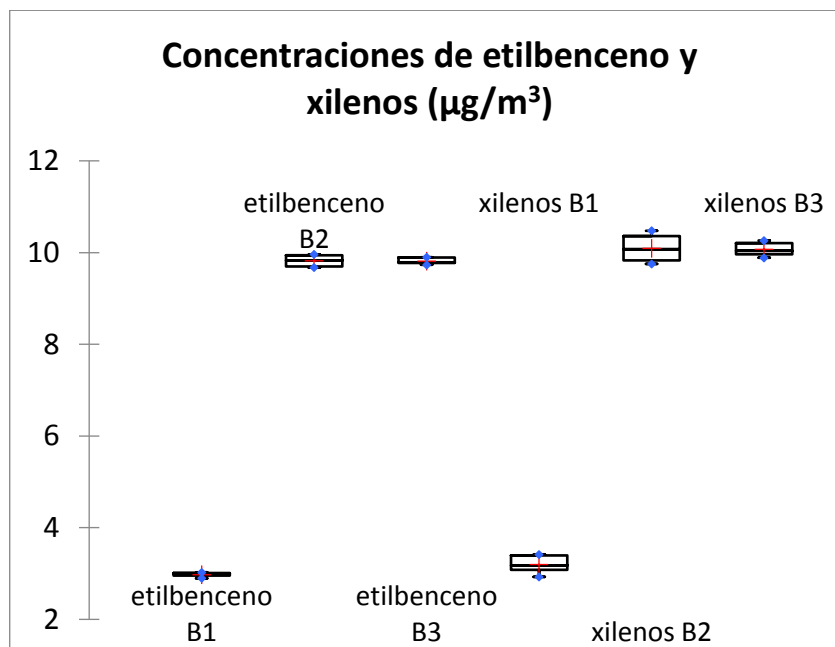


Figura 3. Estadística paramétrica y boxplot para las concentraciones de etilbenceno y xileno en el sitio de estudio durante la temporada de verano de 2022. B1: muestreo de 07:00 – 08:00 h; B2: muestreo de 14:00-15:00 h; B3: muestreo de 18:00 – 19:00 h.

Las mayores concentraciones de benceno y etilbenceno se observaron durante el periodo del medio día (muestreo B2) con valores promedio de concentración de 11.836 y $9.820 \mu g/m^3$, respectivamente. Mientras que tolueno y xilenos mostraron mayores valores de concentración promedio durante el periodo de la tarde (B3) con valores de 11.675 y $10.097 \mu g/m^3$, respectivamente. Los menores valores promedio de concentración para benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos se encontraron durante el periodo de muestreo de la mañana (B1) con valores de 3.977 , 3.956 , 2.978 y 3.201 , respectivamente.

Los datos de concentraciones de BTEX en el sitio de estudio mostraron un comportamiento normal, lo cual se confirmó mediante la aplicación de la prueba de Shapiro-Wilk (W), por lo que se decidió aplicar estadística paramétrica. Aun cuando se observó un patrón diurno en las concentraciones de BTEX (con mayores valores promedio durante el mediodía y la tarde), aplicando las pruebas de Levene (F) y de Bartlett (Chi cuadrado) se confirmó que no hubo diferencias significativas en las concentraciones de BTEX entre los diferentes periodos de muestreo (B1, B2 y B3) a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ en el periodo de estudio en el sitio de muestreo. Lo anterior nos permite inferir que los niveles de BTEX en el sitio de estudio estuvieron homogéneamente distribuidos, con influencia de fuentes locales (tráfico vehicular). Esto pudo confirmarse aplicando un análisis de correlación entre los BTEX medidos y los parámetros meteorológicos registrados en el periodo de estudio. La matriz de correlación de Pearson (Tabla 2) muestra que todos los BTEX tuvieron correlaciones lineales positivas (>0.97), indicando que fueron originados de las mismas fuentes.

Se encontró una correlación moderada significativa entre tolueno y la presión atmosférica (0.551) y una correlación significativa lineal entre temperatura y radiación solar (0.821). Se registraron correlaciones negativas significativas entre la humedad relativa y la temperatura (-0.923) y entre la humedad relativa y la radiación solar (-0.808), indicando que a mayor contenido de humedad en el aire disminuye la temperatura y se asocia con una reducción en los niveles de radiación solar debido a una mayor cobertura de nubes. A partir del análisis de componentes principales aplicado al conjunto de datos, se obtuvieron dos componentes principales F1 y F2, que juntos contribuyeron con un 82.555% a la variabilidad total de los datos.

La figura 4 muestra el biplot de los componentes principales F1 y F2, observándose una fuerte relación entre los BTEX medidos (en el cuadrante superior derecho), una fuerte correlación entre temperatura y radiación solar (en el cuadrante superior izquierdo) y correlaciones negativas fuertes entre los pares temperatura-radiación solar y dirección del viento-humedad relativa, ubicados diametralmente opuestos en el biplot.

Tabla 2. Matriz de Correlación de Pearson de las variables medidas.

Variables	BENCENO	TOLUENO	ETILBENCENO	XILENOS	DV	TEMP	HR	P	RADSOL
BENCENO	1	0.986	0.995	0.997	0.252	-0.240	0.239	0.495	-0.184
TOLUENO	0.986	1	0.971	0.976	0.279	-0.279	0.271	0.551	-0.184
ETILBENCENO	0.995	0.971	1	0.999	0.222	-0.221	0.232	0.478	-0.186
XILENOS	0.997	0.976	0.999	1	0.237	-0.235	0.238	0.478	-0.188
DV	0.252	0.279	0.222	0.237	1	-0.703	0.425	0.312	-0.432
TEMP	-0.240	-0.279	-0.221	-0.235	-0.703	1	-0.923	-0.408	0.821
HR	0.239	0.271	0.232	0.238	0.425	-0.923	1	0.459	-0.808
PATMOS	0.495	0.551	0.478	0.478	0.312	-0.408	0.459	1	-0.077
RADSOL	-0.184	-0.184	-0.186	-0.188	-0.432	0.821	-0.808	-0.077	1

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación $\alpha=0.05$

DV: dirección del viento; TEMP: temperatura; HR: humedad relativa; P: presión atmosférica; RADSOL: radiación solar

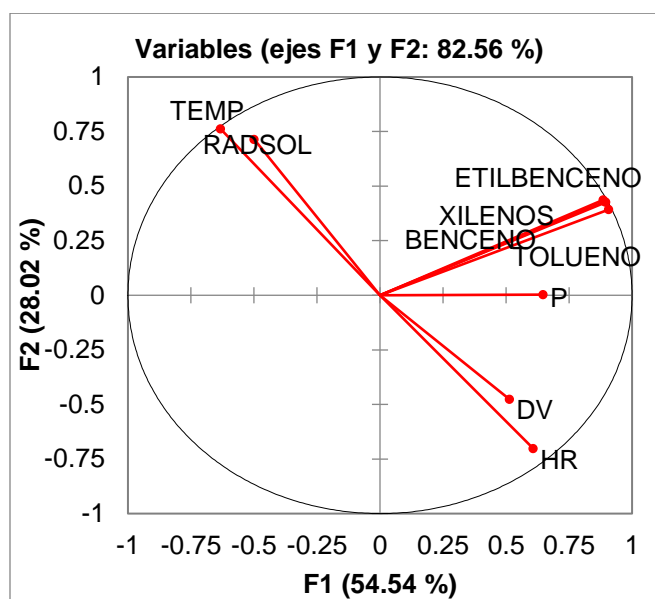


Figura 4. Biplot de los componentes principales. Nota: DV: dirección del viento; TEMP: temperatura; HR: humedad relativa; P: presión atmosférica; RADSOL: radiación solar.

La Tabla 3 muestra los cosenos cuadrados de las variables medidas, en donde se puede apreciar un primer grupo de variables relacionadas entre sí (F1) que incluye a benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos; un segundo grupo F2 que incluye a la temperatura, humedad relativa y radiación solar, altamente relacionadas entre sí.

Tabla 3. Cosenos cuadrados de las variables medidas.

	F1	F2	F3	F4
BENCENO	0.804	0.182	0.012	0.001
TOLUENO	0.824	0.154	0.002	0.000
ETILBENCENO	0.784	0.191	0.018	0.000
XILENOS	0.794	0.184	0.017	0.001
DV	0.264	0.227	0.063	0.444
TEMP	0.400	0.580	0.001	0.000
HR	0.370	0.494	0.000	0.108
P	0.419	0.000	0.480	0.085
RADSOL	0.249	0.509	0.185	0.008

Nota: Los valores en negrita corresponden para cada variable al factor para el cual el coseno cuadrado es el mayor
 DV: dirección del viento; TEMP: temperatura; HR: humedad relativa; P: presión atmosférica; RADSOL: radiación solar

Razones de BTEX

Las razones BTEX resultan del cociente de las concentraciones de Tolueno entre Benceno (T/B) y de Xileno y Etilbenceno (X/E). Son ampliamente usadas, ya que son útiles para identificar el probable origen de los BTEX durante un periodo determinado, pudiendo evaluar las emisiones provenientes de fuentes móviles (automóviles) o de fuentes de área (razón T/B) y frescas o añejas (razón X/E). Las razones T/B son utilizadas como indicadores de emisiones de tráfico vehicular, siendo el Benceno y el Tolueno constituyentes de la gasolina, durante el proceso de combustión son emitidos a la atmosfera por los escapes de vehículos a motor. En la gasolina, el contenido de Tolueno es de 3 a 4 veces mayor que el contenido de Benceno. Cuando se presenten valores de 2 a 3 o menores

en la razón T/B, es un indicador de emisiones vehiculares, este rango se ha reportado en diversas áreas urbanas del mundo. Valores >3 es un indicador de que los niveles de BTEX pueden estar asociados a fuentes diferentes a las vehiculares, por ejemplo: instalaciones industriales y fuentes de área como, emisiones evaporativas, talleres de pintura automotriz, procesos de cocción de alimentos, talleres de serigrafía, tintorerías, entre muchos otros [12]. La razón xileno/etilbenceno (X/Eb) es comúnmente usada como un indicador de la edad fotoquímica de las masas de aire en un sitio dado. Valores mayores a 3.8 indican masas de aire añejas y valores menores a 3.8 indican que las masas de aire son frescas (emisiones recientes) [13]. Esta razón se relaciona con el tiempo de vida atmosférico de estos contaminantes en el aire: valores bajos de esta razón indican que las masas de aire son frescas (emisiones recientes), a su vez valores altos son indicadores de masa de aire añejas. Emisiones frescas de gasolina proporcionan valores entre 3.8 y 4.4 para esta razón [14, 15]. La razón T/B mostró valores en un rango de 0.892 a 1.126 con un valor promedio de 0.976, indicando que los niveles de BTEX en el sitio de estudio se encontraron bajo la influencia de emisiones de tipo vehicular. Por otro lado, la razón de concentraciones (X/Ebz) mostró valores en un rango de 0.974 a 1.129 con un valor promedio de 1.043. Los valores obtenidos indican que las masas de aire conteniendo BTEX en el sitio de estudio fueron frescas (emisiones recientes de fuentes locales).

Evaluación de Riesgo a la Salud

La Tabla 4 muestra los coeficientes de riesgo carcinogénico y no carcinogénico al que puede estar expuesta la población por inhalación de BTEX a las concentraciones medidas. Se puede observar que existe riesgo de cáncer con valores de LTCR que sobrepasan los límites permisibles establecidos por la EPA y OMS (1×10^{-6} y 1×10^{-5} , respectivamente), siendo este nivel de riesgo mayor en población infantil. El coeficiente de riesgo de no cáncer (HQ) no sobrepasó el nivel máximo permisible establecido por EPA y OMS (1.0), lo cual indica que el riesgo de desarrollar enfermedades respiratorias y cardiovasculares por inhalación de BTEX en el sitio de estudio es bajo.

Tabla 4. Coeficientes de riesgo de cáncer y no cáncer para las concentraciones medidas en el sitio de estudio.

LTCR Riesgo de cáncer Adultos	
Contaminante	Promedio
Benceno	$8.17E^{-05}$
LTCR Riesgo de cáncer Niños	
Contaminante	Promedio
Benceno	$1.55E^{-04}$
HQ Coeficiente de riesgo de no cáncer	
Contaminante	Promedio
Benceno	0.3070
Tolueno	0.0017
Etilbenceno	0.0075
Xilenos	0.0779

Trabajo a futuro

Se tiene contemplado llevar a cabo el estudio en 4 sitios más a lo largo de toda la ciudad, de modo que se pueda obtener un mapeo de las concentraciones de BTEX, así como también muestrear durante las temporadas de secas y nortes, para conocer la variación temporal de estos compuestos en los sitios de estudio.

Conclusiones

La abundancia relativa de BTEX en aire ambiente del sitio de estudio fue la siguiente: benceno ($9.197 \mu\text{g}/\text{m}^3$) $>$ tolueno ($8.953 \mu\text{g}/\text{m}^3$) $>$ xilenos ($7.789 \mu\text{g}/\text{m}^3$) $>$ etilbenceno ($7.538 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mostrando un comportamiento diurno con mayores valores de concentración durante los periodos del medio día y tarde, debido a una mayor movilidad por parte de la población en la zona de estudio, resultando en mayores emisiones de tipo vehicular. A partir del análisis de correlaciones de Pearson y de componentes principales se observó que todos los BTEX

mostraron fuertes correlaciones entre sí, indicando que fueron originados por fuentes en común. Del análisis meteorológico se encontró que los vientos dominantes soplaron desde el Este y Sureste, indicando que emisiones vehiculares de avenidas localizadas en estas direcciones pudieron contribuir a los niveles de BTEX medidos. Las razones T/B y X/Ebz mostraron que las concentraciones de BTEX estuvieron influenciadas por emisiones frescas de tipo vehicular y las masas de aire que los contenían fueron de tipo local. Del análisis de riesgo a la salud se encontró que existe riesgo posible de desarrollar cáncer en el tiempo de vida a las concentraciones medidas, siendo más crítico para la población infantil. El nivel de riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias por inhalación de BTEX es bajo. Es importante que se desarrolle por parte de autoridades ambientales a nivel federal, el inventario de emisiones a la atmosfera de contaminantes criterio y compuestos orgánicos volátiles (COV's), en donde se identifiquen las principales fuentes emisoras de hidrocarburos considerando tanto fuentes industriales, fijas como de área, que pudieran contribuir a los niveles de BTEX en Ciudad del Carmen, con el objetivo de desarrollar medidas encaminadas a reducir las emisiones y mejorar la calidad del aire en la zona de estudio.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo otorgado por Casa Grande de Grupo México para poder llevar a cabo este proyecto de investigación, específicamente la compra de insumos y equipos del proyecto "Análisis de riesgo carcinogénico por benceno en aire ambiente", dentro de la Convocatoria "Todos somos chitos 2019".

Referencias

- [1] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, "(INECC).Exposición personal a carbonilos (aldehídos), CO, BTEX y PM2.5 en microambientes de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).", Marzo 2013. [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/370446/14._Informe_Exp_Per_ZMVM.pdf. [Accessed Julio 2022].
- [2] Organización Mundial de la Salud(OMS), «La calidad del aire se está deteriorando en muchas de las ciudades del mundo.,» [Comunicado de prensa]., 2017. [En línea]. Available: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9558:2014-air-quality-is-deteriorating-in-many-of-the-worlds-cities&Itemid=1926&lang=es. [Último acceso: 2022].
- [3] M. Marć, J. Namieśnik and B. Zabiegała, "BTEX concentration levels in urban air in the area of the Tri-City agglomeration (Gdansk, Gdynia, Sopot), Poland.," *Air Quality, Atmosphere & Health*, vol. 7(4), pp. 489 - 504, 2014,doi:10.1007/s11869-014-0247-x.
- [4] T. T. N. Land and N. T. T. Binh, "Daily roadside BTEX concentrations in East Asia measured by the Lanwatsu, Radiello and Ultra I SKS passive samplers," *Science of the Total Environment*, vol. 441, pp. 248-257, 2012.
- [5] J. G. Cerón Bretón, R. M. Cerón Bretón, J. D. W. Kahl, E. Ramírez Lara, C. Guarnaccia, C. A. Aguilar Ucán and U. López Chuken, "Diurnal and seasonal variation of BTEX in the air of Monterrey, Mexico: preliminary study of sources and photochemical ozone pollution.," *Air Quality, Atmosphere & Health*, vol. 8(5), pp. 469-482, 2014.
- [6] J. G. Cerón Bretón, R. M. Cerón Bretón, F. V. Ucan, C. B. Baeza, M. D. L. L. E. Fuentes, E. R. Lara and M. U. Chi, "Characterization and sources of Aromatic Hydrocarbons (BTEX) in the atmosphere of two urban sites located in Yucatan Peninsula in Mexico," *Atmosphere*, vol. 107, p. 8(6), 2017.
- [7] Z. Zhang, X. Wang, Y. Zhang, S. Lu, X. Huang and Y. Wang, "Ambient air benzene at background sites in China's most developed coastal regions: Exposure levels, source implications and health risks.," *Science of the Total Environment*, vol. 511, pp. 792-800, 2015.
- [8] Ceron, J.G.; Ramirez, E.; Ceron, R.M.; Carballo, C.; Aguilar, C.; Lopez, U.; Ramirez, A.; Garcias, Y.; Naal, D.; Campero, A.; et al., "Diurnal and Seasonal Variation of BTX in Ambient air of One Urban Site in Carmen City,Campeche, Mexico",. *J. Environ. Prot.* Vol. 4, pp. 40–49, 2013.
- [9] Ceron-Breton, J.G., Ceron-Breton, R.M., Martinez-Morales, S., Kahl, J.D.W., Guarnaccia, C., Lara-Severino, R.C., Rangel-Marron, M., Ramirez-Lara, E., Espinosa-Fuentes, M.L., Uc-Chi, M.P., and Licon-Sanchez,

- G, "Health Risk Assessment of the levels of BTEX in ambient air of one urban site located in Leon, Guanajuato, Mexico during two climatic seasons", *Atmosphere*, vol. 11 (165), pp. 1-22, 2020.
- [10] Bravo, A.H., E.R. Sosa, A.P. Sánchez, L.E. Bueno, & R.L. González, "Concentrations of benzene and toluene in the atmosphere of the southwestern area at the Mexico City Metropolitan Zone", *Atmos. Environ.*, vol. 36, pp. 3843-3849, 2002.
- [11] Zhang, Y.; Mu, Y.; Liu, J.; Mellouki, A., "Levels, sources and health risks of carbonyls and BTEX in the ambient air of Beijing, China", *J. Environ. Sci.* vol. 24, pp. 124–130, 2012.
- [12] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), "Integrated Risk Information System (IRIS). Toxicological review of benzene (non-cancer effects) (EPA/635/R-02/001F)," 2014. [Online]. Available: <http://www.epa.gov/iris/toxreviews/0276tr.pdf>. [Accessed 2022].
- [13] B. Pekey and H. Yılmaz, "The use of passive sampling to monitor spatial trends of volatile organic compounds (VOCs) at an industrial city of Turkey.," *Microchemical Journal*, vol. 97(2), p. 213–219 doi:10.1016/j.microc.2010.09.006, 2011.
- [14] D. Estéves, N. E. Dimas, G. M. T. Cassanova, J. G. Cerón Bretón, R. M. Cerón Bretón, P. E. Rustián, E. Houbron and C. Cima, "Niveles de BTEX en aire ambiente y niveles de riesgo carcinogénico de benceno en un sitio urbano del centro de Veracruz," in 2º congreso Nacional AMICA 2015, Puebla, Puebla, 2015.
- [15] S. E. Carranco Lozada, J. G. Cerón Bretón, R. M. Cerón Bretón, A. Rodríguez Guzmán y A. R. Tovar Gerardo, «Calidad del aire en Tijuana, Baja California durante invierno de 2017,» de CIM, Orizaba, 2018.

Implementación de Control Difuso para la Optimización del Crecimiento Microalgal en un Fotobiorreactor *Airlift*

Núñez- Alvarez, G.A.¹, García-Cruz, E.L.¹, Alcocer-Guillermo, I.¹; Olmedo-Obrero, G.¹; Bonilla-Blancas, W.^{1,*}

¹Laboratorio de Energías Alternas y Renovables, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, *wcbonilla@tese.edu.mx

Área de participación: Ingeniería química.

Resumen

En la presente investigación, se muestra el diseño del control de pH de *Chlorella vulgaris* cf. en un fotobiorreactor *Airlift*, para optimizar el crecimiento microalgal, con un volumen de operación de 8.0 L, mediante lógica difusa utilizando el motor de inferencia Mamdani. Posteriormente se diseñó el control con lógica difusa para un generador de dióxido de carbono, con un motor a pasos acoplado a una válvula para regular el caudal de CO₂. La regulación se hizo a partir de la adquisición de datos mediante un sensor de pH, variando así el caudal del generador de CO₂ mediante el ángulo de giro del motor a pasos. Se realizó el diseño del control difuso con IDE Arduino, mediante un Arduino mega. El diseño del control se simuló para validar los resultados obtenidos de manera experimental. Así, en este trabajo se logró obtener una regulación del pH mediante lógica difusa, obteniendo una productividad de 35.90 mg/L/d de biomasa, operando el fotobiorreactor *Airlift* por lotes.

Palabras clave: Control difuso, Microalgas, *Chlorella vulgaris* cf., *Airlift*.

Abstract

In this work, the pH control design of the microalga Chlorella vulgaris cf. in an Airlift photobioreactor is shown, to optimize microalgal growth with an operating volume of 8L by means of fuzzy logic using the Mamdani-type inference engine. Subsequently, the fuzzy controller was fitted with a carbon dioxide generator, with a stepper motor coupled to a valve to regulate the flow of CO₂. The regulation was carried out from the acquisition of data through a pH sensor, thus varying the flow rate of the CO₂ generator through the angle of rotation of the stepper motor. The fuzzy control design was carried out through the Arduino IDE, using an Arduino Mega. The control design was simulated in order to validate the results obtained experimentally. Thus, in this work it was possible to obtain a pH regulation by means of fuzzy logic, allowing a productivity of 35.90 (mg/L/d) to be obtained by operating the Airlift photobioreactor in batch.

Key words: Fuzzy control, Microalgae, *Chlorella vulgaris* cf., *Airlift*.

Introducción

El aumento en la demanda energética y la situación actual del calentamiento global, propiciada por la quema de combustibles fósiles principalmente, ha forzado la investigación de nuevas fuentes de energía como los biocombustibles que son renovables y provienen principalmente de plantas, desechos orgánicos, microalgas, etc. Diferentes investigaciones han demostrado su gran potencial. Los biocombustibles se clasifican por el tipo de materia prima que se utiliza para su producción, de las cuales se dividen en cuatro generaciones: la primera generación utiliza principalmente cultivos alimenticios como el maíz, trigo, soja, caña de azúcar, etc. Además de las grasas animales para producir biodiesel, etanol y biogás principalmente, debido a que provienen de cultivos alimenticios tiene una gran problemática para su producción ocasionando escases de productos alimenticios básicos en algunas partes del mundo [1]. La segunda generación se obtiene con biomasa no relacionada directamente con la cadena alimenticia, solucionando así el problema con la primera generación, pues es producida a partir de residuos de fuentes urbanas, forestales y agrícolas lo que favorece a esta generación y hace que esta producción tenga menores costos. Aunque esta producción es mucho más eficiente en comparación con la primera generación, aun es difícil la extracción pues la biomasa celulósica es una cadena resistente de moléculas de azúcar que conforman las paredes celulares de las plantas. Rompiendo esas

cadena y fermentando los azúcares se podría producir biocombustibles sin competir con los cultivos alimentarios [2].

De la tercera generación de biocombustibles destacan las microalgas, pues estos microorganismos son capaces de fijar el CO₂ para obtener oxígeno a través de fotosíntesis, además algunas ventajas que se tienen con el cultivo de microalgas es que estas no son utilizadas para la alimentación humana, no necesitan tierras fértiles, el tiempo de crecimiento es más rápido respecto a las plantas terrestres, pueden utilizarse para tratamiento de aguas residuales esto resuelve por completo el problema que se tenía con las generaciones pasadas. Las microalgas además del suministro de luz necesitan de nutrientes para su crecimiento, principalmente requieren de carbono, nitrógeno, fósforo, oxígeno e hidrógeno. El carbono puede aportarse mediante carbonato, bicarbonato, aunque principalmente se inyecta dióxido de carbono, con esto se tienen dos ventajas la mitigación de carbono y el control del pH [3]. Para cultivar estos microorganismos, su producción se lleva a cabo principalmente por las siguientes etapas: elaboración del medio de cultivo, crecimiento de la microalga en fotobiorreactores, transformación de la biomasa, tratamiento de aguas para recirculación, producción de productos de alto valor agregado (biocombustibles, cosméticos, suplementos alimenticios, productos farmacéuticos, etc.) [2].

Para llevar a cabo las cuatro etapas se requiere de estanques o contenedores denominados fotobiorreactores, de los cuales se clasifican en abiertos y cerrados. Los sistemas abiertos principalmente Raceways son estanques expuestos a la atmósfera, estos sistemas son más baratos y tienen facilidad de escalarlos a nivel industrial, el inconveniente que se tiene con estos sistemas es que se tiene menor control de parámetros y la contaminación del cultivo en comparación con los sistemas cerrados [4]. Los sistemas cerrados, son contenedores transparentes donde el cultivo se encuentra aislado del ambiente y con esto se logra tener control de los parámetros para optimizar el crecimiento microalgal, sin embargo, es costosa la construcción, operación y mantenimiento en comparación con los sistemas abiertos, lo que dificulta su escalamiento industrial. Los sistemas cerrados se clasifican en diferentes tipos como: tubular, columna de burbujeo, panel plano, tanque agitado, columna vertical, *airlift*, etc. [5]. La complejidad para el cultivo de microalgas está dada por el número de variables a controlar, algunas de estas son: pH, oxígeno disuelto, radiación solar, temperatura, intensidad de la luz este último depende del tipo de fotobiorreactor. Las variables principales a controlar son el pH y el oxígeno disuelto ya que poseen una alta dependencia para optimizar la productividad del cultivo microalgal. Las estrategias de control y modelos que describen el comportamiento del sistema son requeridos para lograr mantener estos parámetros en sus valores óptimos [6].

En los trabajos de investigación sobre el control del pH, es posible encontrar diferentes estrategias como el control *On/Off*, implementado en su mayoría por su simplicidad, control PID, control PI + retroalimentación, control con compensación de retardo, control predictivo basado en modelo, control basado en eventos, entre otros [3]. En este trabajo se implementó el control del pH mediante lógica difusa (*Fuzzy Logic*). La lógica difusa permite desarrollar controladores a partir de un experto sobre el sistema a controlar y no necesariamente partir de un modelo matemático o sistemas no lineales [7]. En este trabajo se logró desarrollar el control difuso de pH a partir de parámetros de diseño previamente establecidos con base a caracterizaciones cinéticas con *Chlorella vulgaris cf.*, debido a que actualmente no se cuenta con modelos matemáticos específicos para cada cepa, esto permitió regular el pH entre 7.25 ± 0.05 para lograr optimizar el crecimiento de *C. vulgaris cf.*

Materiales y métodos

Descripción del Fotobiorreactor

La Figura 1 muestra la representación esquemática del fotobiorreactor *Airlift*, con un volumen de operación de 8.0 L, la base donde se montó el fotobiorreactor tiene una altura de 30 cm, los soportes para la iluminación se desplazan y se implementó un PWM (Modulación de Ancho de Pulso) para garantizar el rango de longitud de onda (540-680nm) requerido por las microalgas para realizar la fotosíntesis [3], proceso por el cual sintetizan carbohidratos. La columna externa de acrílico denominada *Downcomer* tiene una altura de 150 cm, con una zona de desgasificación de 30 cm y un diámetro interno de 10.16 cm. El tubo concéntrico, también conocido como *Riser* tiene 95 cm de altura y un diámetro de 5.08 cm, este se encuentra a 5 cm del difusor garantizando un flujo de mezclado homogéneo. La iluminación en el fotobiorreactor es artificial mediante LEDs de alta intensidad de luz blanca, integrada en cuatro soportes con una longitud de 80 cm. La intensidad de luz que

incide dentro del sistema, se midió con un sensor de luz digital BH1750. El pH se midió con una sonda tipo Oakton, conexión BNC de crisol de grafito con un rango de 0.0 – 14.0. Las señales emitidas por los sensores se registraron en una base de datos conectados a una computadora con el Excel, siendo monitoreados mediante una gráfica en tiempo real. El fotobiorreactor *Airlift* se operó por lotes, con inóculo de *Chlorella vulgaris* cf., medio BG11 modificado [8], un volumen de operación de 8.0 L y una intensidad luminosa de 2960 lux. La concentración de CO₂ fue de 26% con un flujo de 0.26 L/min regulador mediante el ángulo de apertura de un motor a pasos acoplado a la válvula del sistema generador de CO₂ y se suministró aire con un flujo de 1.8 L/min desde la parte inferior del fotobiorreactor mediante el difusor.

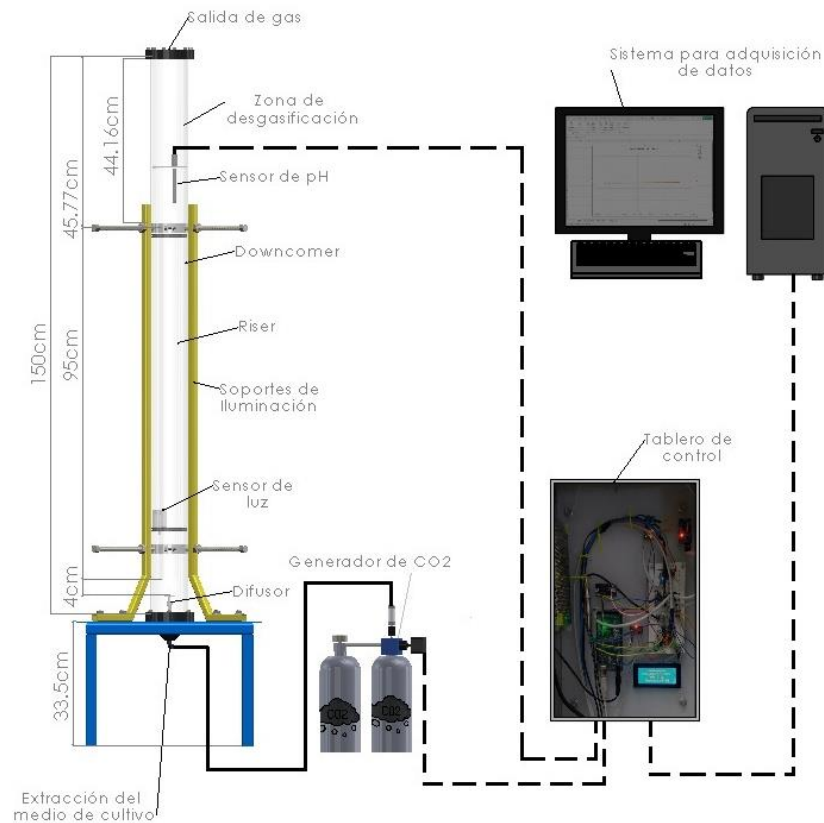


Figura 1. Diagrama esquemático del Fotobiorreactor *Airlift*.

Desarrollo

Se presenta en la Figura 2 el diagrama del controlador difuso utilizado para el diseño del control de un fotobiorreactor *Airlift*. Se realizó la fusificación, proceso que permite asociar a una variable numérica a un conjunto difuso, estableciendo un grado de pertenencia según la función de membresía. Utilizando el motor de inferencia de Mamdani, se establecieron las reglas difusas “*si-entonces*” (*If-Then*) para la variable a controlar. Para obtener la respuesta del controlador difuso, se llevó a cabo la defusificación permitiendo asociar un conjunto difuso a un valor numérico, utilizado para calcular la salida del controlador difuso, mediante el método del centroide.

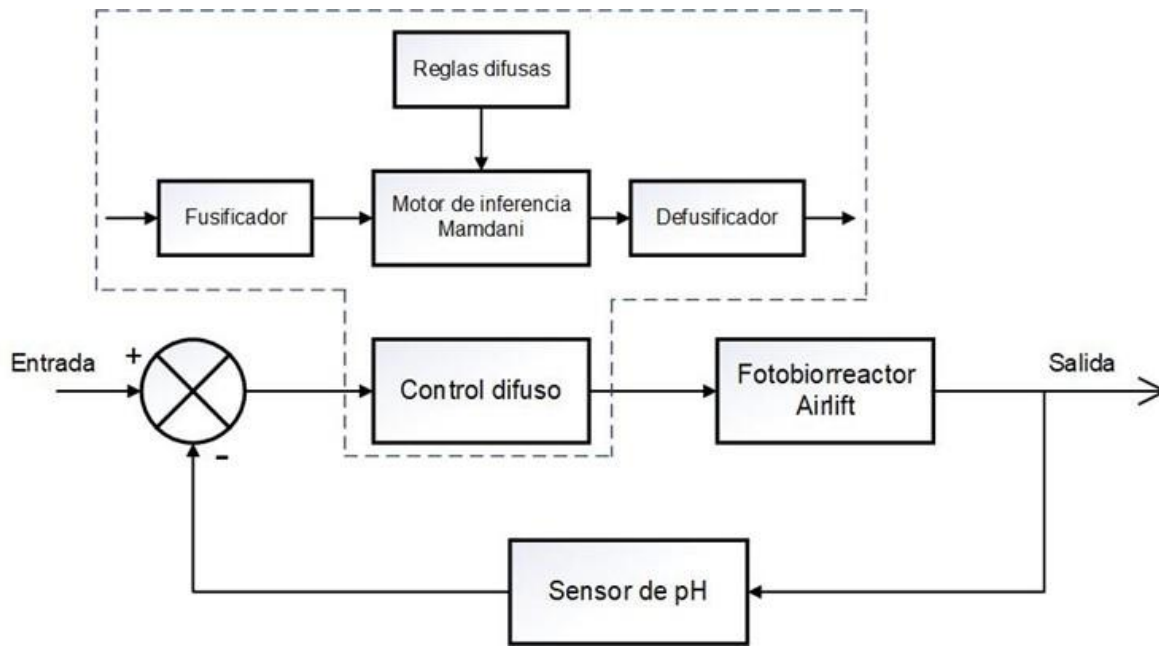


Figura 2. Diagrama a bloques del control difuso.

Se definió el universo discurso para establecer las variables lingüísticas necesarias para tener en consideración cada estado posible en el que puede estar la variable de entrada, en este caso el pH, de acuerdo con los parámetros mínimos y máximos (7.25 ± 0.05) requeridos por la microalga *Chlorella vulgaris* cf [8]. En la Figura 3 se observa la función de membresía de entrada descrita por los posibles estados que puede tener el pH.

- Universo discurso. = $X (6.5 - 9.0)$
- **Entrada.**
- *pH bajo*: $pHB. = f(x; a, b, c, d) = 6.5 \leq 6.5 \leq 6.9 \leq 7.0$
- *pH ideal*: $pHI. = f(x; a, b, c, d) = 6.9 \leq 7.1 \leq 7.3 \leq 7.5$
- *pH ligeramente alto*: $pHLA. = f(x; a, b, c, d) = 7.4 \leq 7.7 \leq 8.2 \leq 8.4$
- *pH alto*: $pHA. = f(x; a, b, c, d) = 8.3 \leq 8.6 \leq 9.0 \leq 9.0$

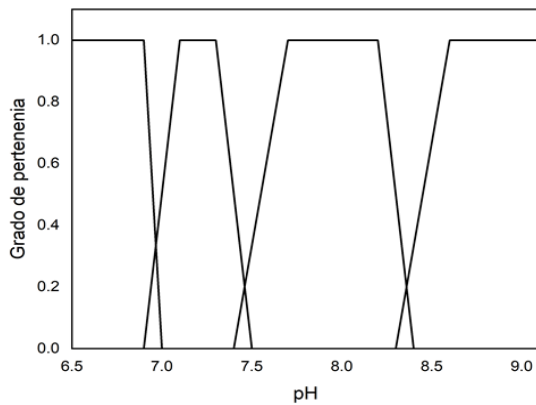


Figura 3. Función de membresía de entrada.

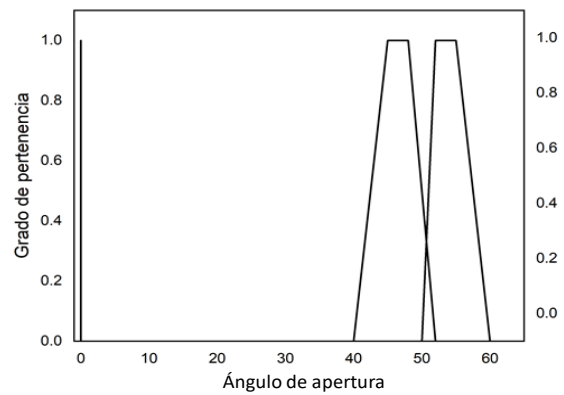


Figura 4. Función de membresía de salida.

Se presenta en la Figura 4, la función de membresía de la salida del sistema representada por el ángulo de giro de un motor a pasos, con la cual se pretende realizar la apertura gradual de una válvula para el suministro de dióxido de carbono hacia el fotobiorreactor *Airlift*.

Salida.

$$\begin{aligned} \text{Sin apertura: } SNA. &= f(y; a, b, c, d) = 0 \leq 0 \leq 0 \leq 0 \\ 40 \text{ grados: } 40GRA. &= f(y; a, b, c, d) = 40 \leq 45 \leq 48 \leq 52 \\ 50 \text{ grados: } 50GRA. &= f(y; a, b, c, d) = 50 \leq 52 \leq 55 \leq 60 \end{aligned}$$

Una vez establecidas las funciones de membresía de entrada y de salida, se definieron a través de cuatro términos lingüísticos las reglas de control basadas en la inferencia de Mamdani ("Si-Entonces"), que se muestran a continuación:

- Si "pH" es pHB, entonces "Angulo de apertura" es 0GRA.
- Si "pH" es pHI, entonces "Angulo de apertura" es 0GRA.
- Si "pH" es pHLA, entonces "Angulo de apertura" 40GRA.
- Si "pH" es PHA, entonces "Angulo de apertura" 50GRA.

Para el proceso de fusificación se realiza la interpretación matemática de las reglas difusas definidas por las ecuaciones 1 a 4 para resolver el producto cartesiano, composición de conjuntos difusos y posteriormente realizar la unión de todos los resultados para obtener el valor de defusificación.

- $B'_1 = A' \circ R'_1 = A' \circ (A_1 \times B_1)$ (1)
- $B'_2 = A' \circ R'_2 = A' \circ (A_2 \times B_1)$ (2)
- $B'_3 = A' \circ R'_3 = A' \circ (A_3 \times B_2)$ (3)
- $B'_4 = A' \circ R'_4 = A' \circ (A_4 \times B_3)$ (4)

Como resultado de la unión se obtiene un conjunto difuso a la salida del controlador, el cual no puede ser interpretado por el fotobiorreactor como una respuesta, para eso es necesario obtener un solo valor de salida, esta acción se le conoce como defusificación, para este caso en específico se obtuvo mediante el método del centroide como se muestra en la ecuación 5.

$$y_0 = \frac{\sum y\mu(y)}{\sum \mu(y)} \dots\dots\dots (5)$$

Condiciones del Cultivo

El fotobiorreactor *Airlift* se operó por lotes, con la microalga *Chlorella vulgaris cf.*, con el medio BG11 modificado, se implementó lógica difusa para regular el pH del cultivo, con tiempos de luz-oscuridad de 16 y 8 horas [8]. El fotobiorreactor *Airlift* estuvo operando en el laboratorio de Energías Alternas y Renovables (LEAR) perteneciente al Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE), en el Estado de México, México.

Cuantificación de biomasa microalgal

Para monitorear el crecimiento de *C. vulgaris cf.*, por triplicado cada 24 h se tomó una alícuota de 5 mL y se registró su absorbancia mediante un espectrofotómetro Velab 41-35-0017. La absorbancia fue convertida a mg/L mediante una curva patrón, para correlacionar la absorbancia (λ 680 nm) contra el peso seco de la biomasa de *C. vulgaris cf.*, el cual se obtuvo filtrando el cultivo a través de un filtro de fibra de vidrio a peso constante, con un poro de 1.6 μ m y secando a 100 °C durante 2 h [8].

Caracterización cinética

Para realizar la caracterización cinética de *C. vulgaris cf.* en el fotobiorreactor *Airlift* se emplearon las ecuaciones 6-8 [8].

La productividad máxima (P) de la biomasa (X mg/L/d) se calculó mediante la siguiente ecuación 6, donde t es el tiempo (d) y X la concentración de biomasa (mg/L) al inicio (1) y al final del cultivo (2):

$$PX = \frac{X_2 - X_1}{t_2 - t_1} \dots \dots \dots (6)$$

μ : La tasa específica de crecimiento (d^{-1}), se obtuvo mediante la ecuación 6, donde X_n es la concentración de biomasa (mg/L), a un tiempo determinado (d).

$$\mu = \frac{\ln X_n}{t} \dots \dots \dots (7)$$

Td: El tiempo de duplicación (d), se obtuvo mediante la ecuación 8.

$$Td = \frac{\ln 2}{\mu} \dots \dots \dots (8)$$

Resultados y discusión

Análisis de simulación y sistema experimental

Para realizar la validación del controlador, se ingresó en la simulación un pH de 7.6, como se muestra en la figura 5, evaluado por las cuatro reglas de control definidas previamente (materiales y métodos), el valor simulado cae en la función de membresía de pH_{LA}, posteriormente entra en el proceso de fusificación para ser evaluado por el motor de inferencia de Mamdani, obteniendo como resultado un conjunto difuso para posteriormente defusificar el conjunto con el método del centroide para obtener un único valor como respuesta.

En la figura 6 se presenta la gráfica de la función de membresía de la salida del controlador la cual está dada por el ángulo de apertura que tendrá un motor a pasos anclado a un generador de dióxido de carbono para regular el caudal, esto según el valor de pH que entre al controlador difuso.

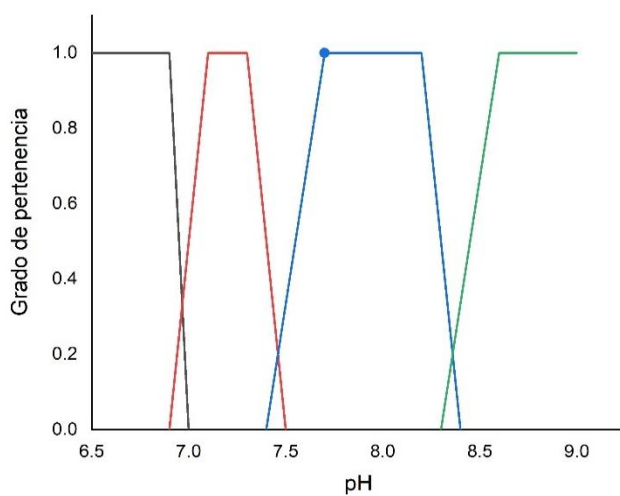


Figura 5. Simulación de la función de membresía de entrada.

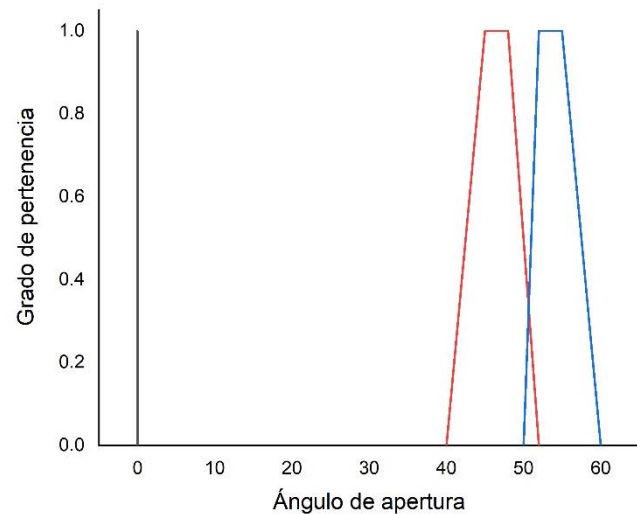


Figura 6. Simulación de la función de membresía de salida.

Como resultado el controlador difuso arroja un solo valor como respuesta, la Figura 6 muestra el comportamiento que tiene, al recibir en este caso un valor de pH igual a 7.6, para esto la respuesta es de 46 grados, es decir, el motor a pasos anclado al generador de dióxido de carbono va a girar 46 grados.

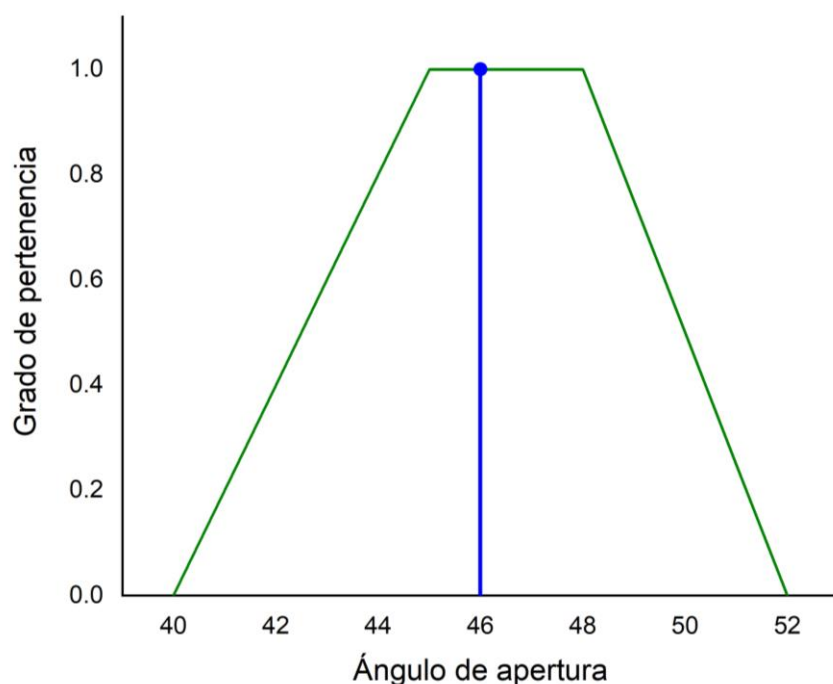


Figura 6. Simulación de la respuesta del controlador difuso.

Derivado del diseño y construcción del control de pH mediante lógica difusa se obtuvo la implementación al sistema experimental. El fotobiorreactor *Airlift* operó por lotes por tiempos de 13 días, en la Figura 7 se observa el comportamiento que tuvo el controlador, al tener el sistema con cultivo cuya concentración de biomasa fue de 35 g/L manteniendo el pH en el rango propuesto por las reglas de control, las líneas rojas horizontales señalan el punto pH_B y pH_A que indican las variables lingüísticas donde se definieron como los puntos bajos y altos para el control. También se puede observar que, al momento de accionar el controlador, el pH no cambia drásticamente lo cual mantiene más estable el cultivo, esto se debe al controlador que acciona adecuadamente al detectar un incremento de pH. Por otro lado, en la Figura 8 se muestra el comportamiento del control difuso con una concentración de biomasa superior a 400 mg/L al finalizar el cultivo a diferencia de lo mostrado en la Figura 7, el accionamiento del sistema de control se activó frecuentemente, además la regulación se mantiene más estable a pesar de ser más exigida por el fotobiorreactor con respecto a lo mostrado en la Figura 7. Trabajos previos han desarrollado diferentes estrategias de control de pH, por ejemplo, un control predictivo lineal, que reguló el pH 7.8 (± 0.2) y 7.8 (± 0.1) [9]. En otro trabajo un control en un reactor raceway basado en eventos Wiener se logró regular el pH en 8.0 (± 0.2) [10], en comparación con el presente trabajo se logró una regulación satisfactoria del pH (7.25) con restricciones menores a 0.1 (0.05) permitiendo mantener el pH óptimo para el crecimiento de *C. vulgaris cf.*

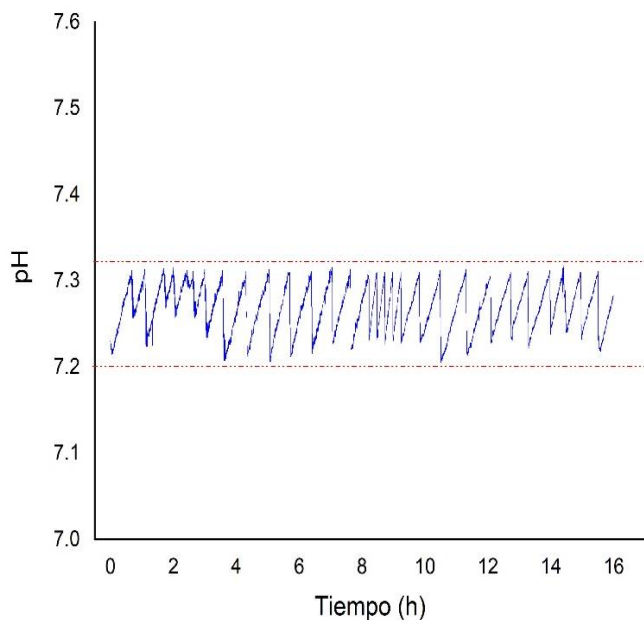


Figura 7. Comportamiento del pH al iniciar la cinética, menor concentración de biomasa.

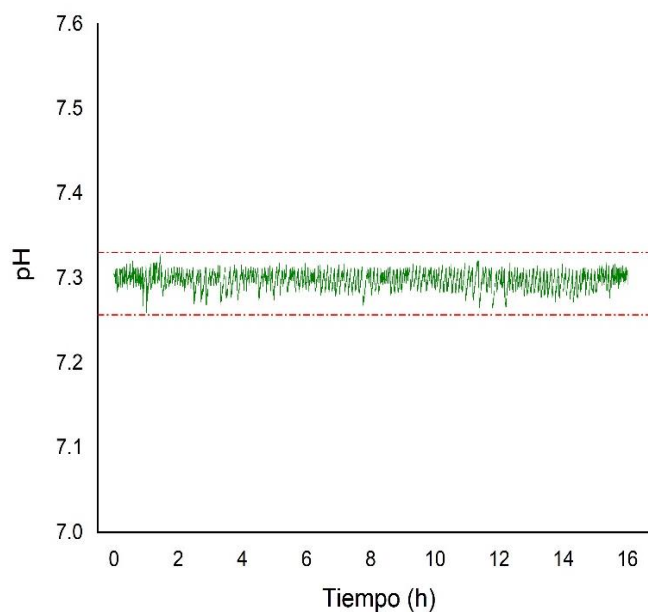


Figura 8. Comportamiento del pH al finalizar la cinética, con mayor concentración de biomasa.

En la Figura 10 se muestra la representación del fotobiorreactor *Airlift* con el tablero de control y el generador de dióxido de carbono al cual esta acoplado un motor a pasos. El tablero de control incorpora un Arduino mega para procesar el controlador difuso, los datos como la fecha, hora, luz que incide dentro del fotobiorreactor, pH y la respuesta del control difuso en grados para la apertura del motor a pasos se visualizan mediante una pantalla LCD (20x4) (LCD204, Teknomovo, China).

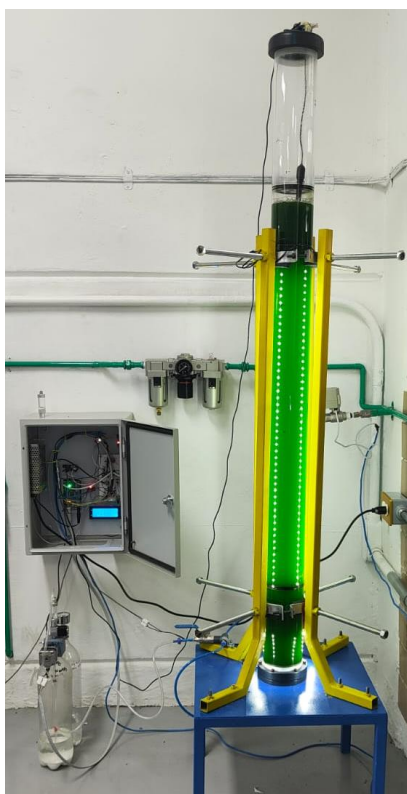


Figura 9. Representación fotográfica del fotobiorreactor *Airlift*.

Análisis de Biomasa, Airlift

En la Tabla 1, se muestran los parámetros observados de la caracterización cinética para *C. vulgaris cf.* con inyección de CO₂ a demanda y con control difuso de pH. Se aprecia como el control difuso de pH optimizó el cultivo de *C. vulgaris cf.* pues la productividad se triplicó respecto a la inyección de CO₂ a demanda, mientras que la tasa máxima de crecimiento incrementó 136%. Está reportado que los cambios bruscos de pH afectan negativamente el crecimiento de las microalgas, por ello el control difuso para el pH puede permitir un mejor desempeño en la actividad metabólica de las microalgas, adicionalmente se ha demostrado que la inyección constante de CO₂ puede ayudar en el control de los organismos predadores de los cultivos de microalgas [11], en este contexto el control difuso de pH (7.2 ± 0.05) fue la clave para optimizar el crecimiento de *C. vulgaris cf.*

Tabla 1. Parámetros cinéticos de *C. vulgaris cf.* en el fotobiorreactor Airlift con inyección de CO₂ a demanda sin control de pH y con control de pH.

Condición	Inyección de CO ₂ a demanda (sin control)	Control difuso de pH
Productividad (mg/L/d)	10.06 ± 0.019	35.90 ± 0.008
Tasa específica de crecimiento (d ⁻¹)	0.156 ± 0.001	0.213 ± 0.001
Tiempo de duplicación (d)	4.44 ± 0.001	3.25 ± 0.001

En la Figura 10 se presentan las gráficas del crecimiento de *C. vulgaris cf.* En ambas gráficas se logró obtener curvas de crecimiento típicas de los cultivos en lote, sin embargo, en la curva b se aprecia un incremento de la biomasa final de 306 % respecto a la cinética con inyección de CO₂ a demanda, por lo que el control difuso optimizó la productividad de biomasa en el fotobiorreactor Airlift.

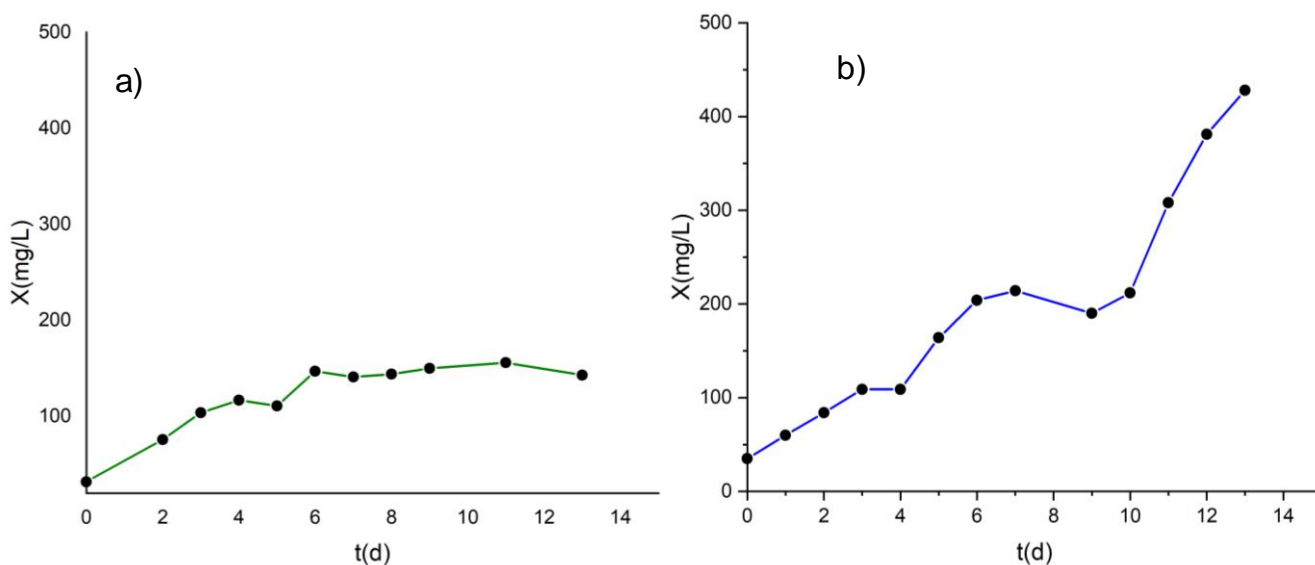


Figura 10. a) Curva de crecimiento sin control, b) Curva de crecimiento con control difuso.

Trabajo a futuro

Operar el fotobiorreactor en continuo manteniendo el cultivo en su rango óptimo de concentración de biomasa, instrumentar el sistema experimental para diluir el cultivo de manera automática, diseñar e implementar un sensor para cuantificar de manera directa la cantidad de biomasa. Realizar pruebas con diferentes ciclos luz-oscuridad para el análisis del crecimiento microalgal. Modificar el controlador difuso para agregar la intensidad de luz como una entrada para retroalimentar la lógica del sistema.

Conclusiones

El diseño del control mediante lógica difusa permitió una mayor adaptación a la regulación de pH mediante un generador de CO₂ con un motor a pasos acoplado a la válvula de regulación de caudal. Se observó que al tener un cultivo con mayor concentración de biomasa, el control difuso es estable a pesar de ser activado frecuentemente respecto a una menor concentración de biomasa, por lo que, el sistema reguló satisfactoriamente el pH en ambos casos. Con ello se logró la optimización del fotobiorreactor en cuanto la productividad de biomasa pues, los resultados muestran que el control difuso incrementó considerablemente la biomasa. Los resultados adquiridos por la simulación confirman los resultados obtenidos de manera experimental logrando aumentar la productividad del sistema experimental.

Agradecimientos

Se agradece a Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada con número de CV: 1083316 mediante el Padrón de posgrados de calidad (PNPC). Asimismo, se agradece al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por el apoyo otorgado a través el programa Investigadoras e Investigadores COMECYT EDOMÉX, folio EESP2021-0046. Se agradece a Francisco Salazar Nepamuceno y Jaciel Israel Flores Pedraza, por el apoyo técnico otorgado a lo largo de esta investigación.

Referencias

- [1] Bolaños. E.D.S “Biocombustibles”, Tesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ciencias de la vida y la Agricultura, Quito, 2021.
- [2] V. A. Alder, “Biocombustibles Y Microalgas Marinas,” en *Cienc. Invest.*, vol. 68, no. 1, pp. 29–40, 2018.
- [3] J. L. Guzmán, F. G. Acién, y M. Berenguel, “Modelado y control de la producción de microalgas en fotobiorreactores industriales,” *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind.*, vol. 18, no. 1, p. 1, 2020.
- [4] Sirohi, R., “Bioresource Technology Design and applications of photobioreactors- a review,” en *Bioresour. Technol.*, vol. 349, no. February, p. 2-12, 2022.
- [5] A. Arribas Jimeno y R. Muñoz Torre, “Fotobiorreactores, técnicas y parámetros implicados en la producción de biocombustibles de origen microalgal,” en tesis, Universidad de Valladolid, Escuela de ingenierías Industriales, en España, 2020.
- [6] J. L. Guzmán, F. G. Acién, and M. Berenguel, “Modelling and control of microalgae production en industrial photobioreactors,” *RIAI - Rev. Iberoam. Autom. e Inform. Ind.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–18, 2021.
- [7] D. P. Bautista y F. A. Acevedo, “Diseño de un controlador de carga de tres etapas para sistemas fotovoltaicos usando lógica difusa”, en *Ingeniare, Revista Chilna de Ingeniería*, vol. 27, pp. 540–550, 2019.
- [8] García-Cruz. E.L. “Caracterización cinética de microalgas bajo condiciones representativas del tratamiento de emisiones de CO₂ de gases de combustión,” en Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 2020.
- [9] C. Moreno y M. Berenguel, “Control predictivo lineal del pH de un fotobiorreactor raceway,” presentado en XL Jornadas de Automatica, Ingeniería de control, Almería, España, 2019.
- [10] A. Pawlowski, M. Berenguel y Acién F.G. "Control System for pH in Raceway Photobioreactors Based on Wiener Models", vol. 1, pp. 928–933, 2019.
- [11] Galès, A. “Control of the pH for marine microalgae polycultures : A key point for CO₂ fixation improvement in intensive cultures”, en vol. 38, pp. 187–193, 2020.

MODELAMIENTO CON MATLAB DE LA HIDRÁULICA DE LA PERFORACIÓN CON REVESTIMIENTO

D.A. Bolaina Naranjo¹, E. Del Angel Meraz^{1*}, M.A. Pantoja Castro¹

¹División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez Km 1. c.p. 86690, Cunduacán, Tabasco, México.

**ebelia.delangel@ujat.mx*

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En el presente estudio se desarrolló un programa en MATLAB para modelar la hidráulica de la perforación con revestimiento de un pozo petrolero, el objetivo específico fue calcular las pérdidas de presión a partir del modelo Plástico de Bingham. Los resultados muestran una pérdida de presión total de 105.4874 PSI en la tubería de perforación, donde se recomienda aumentar el diámetro del agujero en la longitud de 3500 ft, para disminuir la pérdida de presión y evitar problemas con la circulación del fluido. Los resultados de la hidráulica indican que el mayor porcentaje de caída de presión total del sistema corresponde a las pérdidas de presión en el trépano considerando únicamente las obtenidas en el modelo reológico. El modelamiento permite validar que el fluido cumple con las propiedades ideales para las condiciones de operación planteadas y proporciona una herramienta útil para el monitoreo rápido de pozos petroleros en perforación.

Palabras clave: Bingham, hidráulica, presión, pozos petroleros.

Abstract

In the present study, a MATLAB program was developed to model the hydraulics of drilling with an oil well casing, the specific objective was to calculate the pressure losses from the Bingham Plastic model. The results show a total pressure loss of 105.4874 PSI in the drill pipe, where it is recommended to increase the diameter of the hole in the length of 3500 ft to reduce the pressure loss and avoid problems with the circulation of the fluid. The results of the hydraulics indicate that the highest percentage of total pressure drop in the system corresponds to the pressure losses in the drilling bit, considering only those obtained in the rheological model. The modeling allows validating that the fluid meets the ideal properties for the proposed operating conditions and provides a useful tool for the rapid monitoring of oil wells in drilling.

Key words: Bingham, hydraulics, pressure, oil Wells.

Introducción

La perforación con tubería de revestimiento (CwD) es una técnica eficiente y alternativa al método de perforación convencional que permite perforar y revestir en un solo viaje sin necesidad de bajar y extraer posteriormente la columna de perforación para la instalación de la tubería permanente como se hace en la perforación convencional. Con esta técnica la geometría de la trayectoria del fluido es diferente a la geometría que se tiene en la perforación convencional, por dentro del revestimiento no existen restricciones y las pérdidas de presión son muy bajas, por el contrario, el anular presenta mayores restricciones al flujo y las pérdidas de presión son mayores a las que se presentan en anulares convencionales [1]. En la Figura 1 se muestra el esamble de pozos de la técnica no convencional.

Interior del casing



Exterior del casing y ensamblaje de BHA

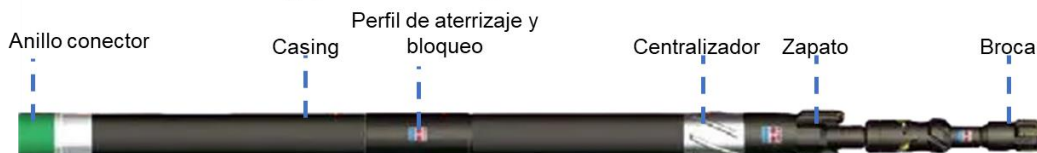


Figura 1. Ensamblaje de fondo de pozo para la perforación con revestimiento [2].

El uso de la tubería de revestimiento para transmitir energía mecánica e hidráulica al proceso es de gran utilidad, ya que además de presentar menor caída de presión tiene como resultados el empleo de una mayor densidad equivalente de circulación (ECD), menores parámetros hidráulicos y menores pesos de lodo [2]. En los sistemas de perforación con carcasa las operaciones simultáneas de perforación y revestimiento aceleran la construcción de pozos, reducen la exposición al riesgo y mitigan los peligros potenciales [3]. En la práctica se han encontrado numerosas ventajas con respecto a la técnica convencional, sobresaliendo que esta técnica puede reducir el tiempo de equipo de perforación no productivo hasta en un 50% y acortar el tiempo de perforación en un porcentaje que puede variar entre el 10 y el 35% por pozo en ciertas aplicaciones de perforación [4].

Para este tipo de operaciones, la carcasa generalmente se pone en movimiento rotatorio y se cementa en el pozo a la profundidad total (TD), pero actualmente hay muchos modelos desarrollados para perforar con carcasa. Por lo regular, esos modelos pueden ser divididos en CwD con sistema no recuperable y CwD con sistemas recuperables como se muestra en la Figura 2 [5].

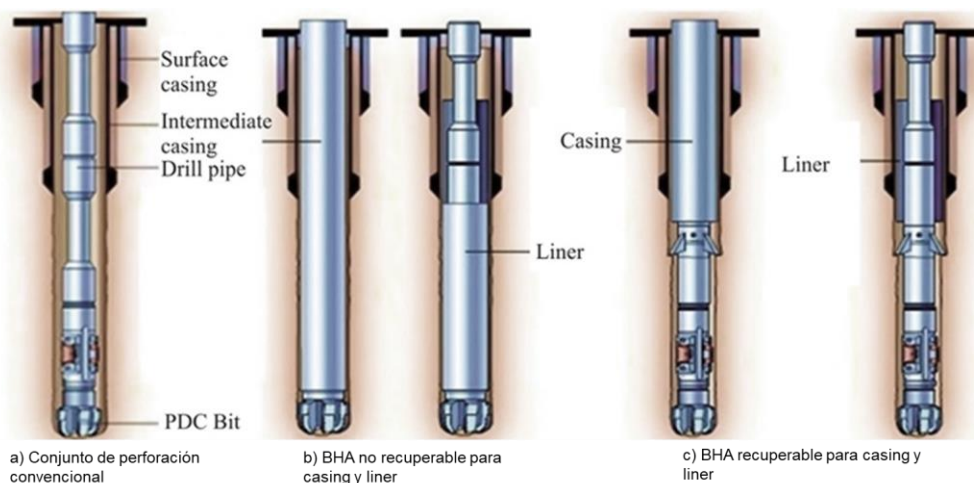


Figura 2. Modelos de Perforación convencional y perforación con carcasa [6].

Existen múltiples modelos reológicos para calcular las pérdidas de presión cuando se perfora con revestimiento, algunos se basan en el análisis hidráulico convencional mientras otros tienen en cuenta variables complementarias como la excentricidad y la rotación de la tubería [1]. El modelo reológico Plástico de Bingham es un modelo de dos parámetros utilizado ampliamente en el campo de los fluidos de perforación para describir las características del flujo de muchos tipos de lodo.

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio de un caso práctico hipotético para determinar la hidráulica en la perforación con revestimiento, haciendo uso de un lodo con propiedades similares a las empleadas por pozos petroleros en operación, empleando el modelo plástico de Bingham y teniendo en cuenta factores particulares que alteran la presión de circulación en el fondo del pozo, para finalmente sugerir soluciones viables y tener las menores pérdidas de presión posibles en el sistema. En el desarrollo del modelo se hace uso del software “Matlab”, debido a las ventajas que ofrece sobre otros programas en cuanto a la automatización y manejo de datos.

Metodología

La metodología para obtener las variables de la hidráulica de la perforación del caso práctico se presenta en la Figura 3, partiendo de las ecuaciones tomadas de [1] para el cálculo de caídas de presión del modelo, hasta finalmente obtener las variables de la hidráulica por ecuaciones obtenidas de [7], [8].

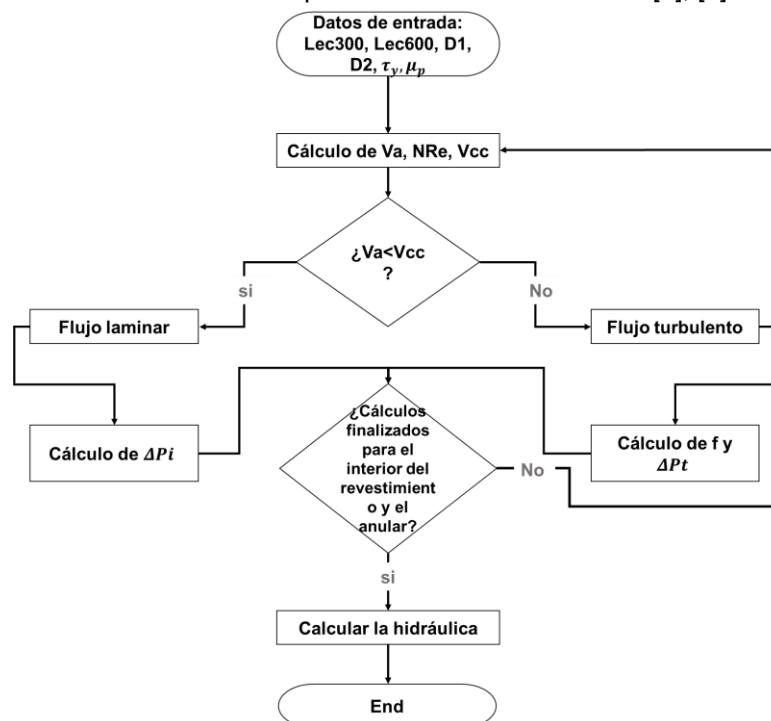


Figura 3. Procedimiento de cálculo de la hidráulica

Ecuaciones para el cálculo en el interior del revestimiento

La viscosidad plástica se puede calcular con la ecuación (1), a partir de la diferencia de las lecturas del viscosímetro (θ) a 600 y 300 rpm.

$$\mu_p = \theta_{600} - \theta_{300} \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

μ_p = viscosidad plástica en (cP).

El esfuerzo de corte (τ_y) es determinado por la ecuación (2).

$$\tau_y = \theta_{300} - \mu_p \quad \text{Ec.2}$$

La velocidad del fluido de perforación en el espacio anular es definida por la ecuación (3)

$$V_a = \frac{Q}{2.45 * ID1^2} \quad \text{Ec.3}$$

Donde :

V_a = velocidad del fluido (pies/s)., Q = gasto de la bomba en (gal/min)., $ID1$ =diámetro de la sarta en (In).

Número de Reynolds.

$$NRe = \frac{928 * ID1 * V_a * \rho}{\mu_p} \quad \text{Ec.4}$$

Donde :

NRe =número de Reynolds., ρ =Densidad del lodo en (Lb/gal).

El criterio de turbulencia para definir el tipo de flujo se determina por la ecuación (5).

$$V_{CC} = \frac{1.08 * \mu_p + 1.08 \sqrt{\mu_p + 12.34 * ID1^2 * \tau_y * \rho}}{\rho * ID1} \quad \text{Ec.5}$$

Si $V_a < V_{CC}$ es flujo la minar

Si $V_a > V_{CC}$ es flujo turbulento

El factor de fricción de fanning se estima por la ecuación (6) a partir del número de Reynolds.

$$f = \frac{0.0791}{NRe^{0.25}} \quad \text{Ec.6}$$

Perdida de presión para flujo laminar.

$$\Delta Pli = \frac{\mu_p * L * V_a}{1500 * ID1^2} + \frac{\tau_y * L}{255 * ID1} \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

ΔPli = Pérdida de presión para flujo laminar en (psi)., L = longitud de la sarta en (pies).

Pérdida de presión para flujo turbulento ΔPti .

$$\Delta Pti = \frac{f * L * \rho * V_a^2}{25.8 * ID1} \quad \text{Ec.8}$$

Ecuaciones para el cálculo en el anular

El Número de Reynolds para la sección anular es dado por la ecuación (9).

$$NRe = \frac{757 * V_a * \rho * (D2 - D1)}{\mu_p} \quad \text{Ec.9}$$

Donde: $D1$ =diámetro de la sarta en (In)., $D2$ = diámetro del hoyo en (In).

El Criterio de turbulencia (Criterio de velocidad critica) es obtenido de la ecuación (10) y la velocidad aparente por la ecuación (11).

$$V_{Ca} = \frac{1.08 * \mu_p + 1.08 \sqrt{\mu_p^2 + 9.26 * (D2 - D1)^2 * \tau_y * \rho}}{\rho * (D2 - D1)^2} \quad \text{Ec.10}$$

$$V_a = \frac{Q}{2.45 * (D2^2 - D1^2)} \quad \text{Ec.11}$$

Si $V_a < V_{Ca}$ es flujo la minar

Si $V_a > V_{Ca}$ es flujo turbulento

El factor de fricción de fanning para esta sección también es calculado por la ecuación (6). La Pérdida de presión para flujo laminar (ΔPli) y Pérdida de presión para flujo turbulento (ΔPti) son dadas por las ecuaciones (12) y (13) respectivamente.

$$\Delta Pli = \frac{\mu_p * L * V_a}{1000 * (D2 - D1)^2} + \frac{\tau_y * L}{200 * (D2 - D1)} \quad \text{Ec.12}$$

$$\Delta P_{ta} = \frac{f * L * \rho * V_a^2}{21.1 * (D2 - D1)} \quad \text{Ec.13}$$

La Pérdida de presión total del sistema puede ser descrita con la ecuación 14.

$$\Delta P_{sistema} = \Delta P_i + \Delta P_a \quad \text{Ec.14}$$

Hidráulica del pozo

El área total del flujo en la broca de perforación es dada por la ecuación (15) en unidades de(In²).

$$TFA = 7.67 * 10^{-4} * boquillas * d^2 \quad \text{Ec.15}$$

La caída de presión en el trépano (ΔP_{TRP}) es definida por la ecuación (16) en unidades de(psi).

$$\Delta P_{TRP} = \frac{\rho * Q^2}{10858 * TFA^2} \quad \text{Ec.16}$$

Caída de presión total.

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{sistema} * Fc + \Delta P_{TRP} \quad \text{Ec.17}$$

Factor de correlación.

$$Fc = \left(\frac{\rho}{10}\right) \left(\frac{\mu_p}{\rho}\right)^{0.14} \quad \text{Ec.18}$$

Potencia hidráulica al trépano en (HP).

$$HT_{TRP} = \frac{Q * \Delta P_{TRP}}{1714} \quad \text{Ec.19}$$

Potencia hidráulica total del sistema en (HP).

$$HT_{total} = \frac{Q * \Delta P_{total}}{1714 * effv * effm} \quad \text{Ec.20}$$

Donde : HT_{total} =Potencia hidráulica total del sistema., $effv$ = eficiencia volumétrica., $effm$ =eficiencia mecánica.

La velocidad del flujo para el trepano es dada por la ecuación (21) en unidades de (ft/s).

$$V_{boquillas} = \frac{0.32 * Q}{TFA} \quad \text{Ec.21}$$

Fuerza de impacto en unidades de (Lbf).

$$FI = \frac{V_{boquillas} * Q * \rho}{1930} \quad \text{Ec.22}$$

El porcentaje de caída de presión en el Trepano se obtiene de la ecuación (23) en (psi).

$$\% \Delta P_{TRP} = \frac{\Delta P_{TRP}}{\Delta P_{total}} * 100 \quad \text{Ec.23}$$

La ECD se puede obtener en unidades de (Lb/gal) por la ecuación (24), considerando las pérdidas de presión en los anulares (ΔP_a) de la tubería de revestimiento determinadas por la ecuación (12) y (13).

$$ECD = \rho + \frac{\sum \Delta P_a}{(0.052TVD)} \quad \text{Ec.24}$$

Donde: ECD = densidad equivalente de circulación en (Lb/gal)., $\sum \Delta P_a$ =sumatoria de pérdidas de presión en el anular en (psi)., TVD =profundidad vertical verdadera en (ft)., ρ =Densidad del lodo en (Lb/gal).

Desarrollo. Caso de estudio hipotético

Se requiere calcular la hidráulica de perforación y las caídas de presión a través de las diferentes secciones de la sarta de perforación y espacio anular. La profundidad vertical verdadera es 4500 ft, el zapato de las tuberías de revestimiento de diámetros de 24" y 13-3/8" se encuentran asentadas a 1600 ft y 3500 ft respectivamente, el hoyo tiene un diámetro de 32" y después del zapato de la segunda cañería de revestimiento es de 12".

Para la sarta de perforación, se tiene Drill Collar 8" x 2.665" con una longitud de 600 ft que fue asentada debajo de tubería de perforación 8" x 4.276". El reporte de ingeniero de lodos indica un lodo con un peso de 12 ppg, el viscosímetro rotatorio indica lecturas de 38 cP a 600 rpm y 26 cP a 300 rpm. La bomba tiene un gasto de descarga de 800 GPM, eficiencia mecánica del 87% y eficiencia volumétrica del 93%. Se utiliza un trépano PDC con 5 boquillas de 13/32" y un equipo de superficie tipo 2. Los datos requeridos en el análisis del problema hipotético planteado se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos del pozo

Datos	valor
Gasto de la bomba Q	800 GPM
Lecturas del viscosímetro rotatorio θ	a 600 rpm= 38 cp a 300 rpm= 26 cp
Diámetro interior tubería ID	D1= 24" y D2= 13-3/8"
Longitud de la tubería	L1=1600 ft, L2=3500 ft
Diámetro del hoyo	32", 12" (L= 4500 ft)
Drill Collar	8" x 2.665"; (L=600 ft)
Tubería de perforación	8" x 4,276".
Densidad del lodo	12 lb/ gal
Trépano	5 boquillas 13/32"

Fuente: Elaboración propia

La resolución del problema se llevó a cabo en el programa Matlab, aplicando los criterios de condiciones del modelamiento plástico de Bingham (criterio de la velocidad crítica), donde no se considera la rotación de la tubería, se asume tubería concéntrica en el hueco y se desprecian las variaciones de temperatura a lo largo del pozo. El modelo de la hidráulica programado en Matlab cuenta con una interfaz gráfica sencilla que facilita el uso del programa por parte del usuario, solicitando de forma ordenada el ingreso de la información propia del pozo en estudio mediante la ventana de que se describirá a continuación.

Ventana información básica: La ventana de comandos permite el ingreso de la información relevante del pozo materia de estudio. En ese sentido, los datos a introducir corresponden a los del problema propuesto (Caso de estudio hipotético) y se muestran en la misma ventana, tales son el diámetro de la sarta, diámetros del hoyo, densidad del lodo, longitud de la sarta, lectura del viscosímetro (600 y 300 rpm), número de boquillas del trepano, diámetro de las boquillas, eficiencia mecánica y volumétrica, y longitud del anular (1 y 2). En la misma venta se visualizan los resultados al momento de introducir el último dato de entrada. Lo previamente señalado queda expuesto en la Figura 4.

The screenshot shows a MATLAB Command Window with the following content:

```

Command Window
PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

Calcular la hidráulica de perforación y las caídas de presión a través de las diferentes secciones de sarta de perforación y espacio anular empleando el modelo reológico plástico de Bingham. La profundidad vertical verdadera es 4500 ft, el zapato de las tuberías de revestimiento de diámetro de 24" y 13-3/8" se encuentran asentadas a 1600ft y 3500ft respectivamente. El hoyo tiene un diámetro de 32" y después del zapato de la segunda cañería de revestimiento es 12". Para la sarta de perforación se tiene Drill Collar 8" x 2.665" con una longitud de 600 ft que fue asentada debajo de tubería de perforación 8" x 4.276". El reporte de ingeniero de lodos indica un lodo con un peso de 12 ppg, el viscosímetro rotatorio indica una lectura de 600rpm de 38 y lectura de 300rpm de 26. la bomba tiene una rata de descarga de 800GPM ; una eficiencia mecánica del 87%; una eficiencia volumétrica del 93%. Se utiliza un trepano PDC con 5 boquillas de 13/32". Equipo de superficie tipo 2.

insertar valor de diámetro de la sarta(in):8
insertar valor de diámetro del hoyo a 1600 ft(in): 32
insertar valor de diámetro del hoyo a 3500 ft (in): 12
insertar valor de de densidad del lodo (ppg): 12
insertar valor de gasto de la bomba (GPM): 800
insertar valor de Longitud de la sarta: 4500
insertar valor de lectura del viscosímetro rotatorio de 600 rpm: 38
insertar valor de lectura del viscosímetro rotatorio 300 rpm: 26
insertar valor de número de boquillas: 5
insertar valor de diámetro de boquillas (in): 13
insertar valor de la eficiencia mecánica en fracción: 0.87
insertar valor de la eficiencia volumétrica en fracción: 0.93
insertar valor de la Longitud 1 del anular(ft): 1600
insertar valor de la Longitud 2 del anular(ft): 3500

Perdida de presión en la sarta (PSI)
Parámetros del modelo reológico
Up=12 Ty=14
Criterio de turbulencia
Va=5.102041e+00
Vcc=4.233023e+00
Numero de Reynolds = 3.787755e+04
Factor de fricción de Fanning = 5.669973e-03
Pérdidas de presión para flujo turbulento (PSI) = 3.861472e+01

Perdida de presión en en anular a 1600 ft
Criterio de turbulencia
Va=3.401361e-01
Vcc=3.595075e+00Numero de Reynolds = 6.179592e+03
Pérdidas de presión para flujo laminar (PSI) = 4.678005e+00

Perdida de presión en en anular a 3500 ft
Criterio de turbulencia
Va=4.081633e+00
Vcc=3.830043e+00
Numero de Reynolds = 1.235918e+04
Factor de fricción de Fanning = 7.502034e-03
Pérdidas de presión para flujo turbulento(PSI) = 6.219475e+01

Hidráulica del pozo

Área total del flujo(in^2) = 6.481150e-01
Caída de presión del TRP (PSI) = 1.683665e+03
Factor de correlación = 1.200000e+00
Caída de presión total(PSI) = 1.810450e+03
Potencia hidráulica al TRP (HHP) = 7.859346e+02
Potencia hidráulica total del sistema(HHP) = 1.044392e+03
Velocidad del flujo para el trepano(ft/min) = 3.949916e+02
Fuera de impacto(lbf) = 1.964725e+03
Porcentaje de caída de presión en el TRP = 9.300809e+01
ECD(lb/gal)=1.228578e+01>>
    
```

Figura 4. Ventana de información básica y Resultados.

Resultados

Los resultados obtenidos en el modelamiento para las pérdidas de presión se muestran en la Tabla 2, comparando en la Figura 5, las pérdidas de presión a las longitudes de la sarta y el anular.

Tabla 2. Pérdidas de presión y variables calculadas

Va (ft/s)	NRe	Vcc (ft/s)	f	$\Delta P(PSI)$
pérdida de presión en la sarta				(ΔP_{ti})
5.1020	37877.55	4.2330	0.00567	38.6147
Pérdida depresión en el anular, profundidad 1(600 ft)				(ΔP_{la1})
0.3401	6179.59	3.5951	N/A	4.6780
Pérdida depresión en el anular, profundidad 2 (3500 ft)				(ΔP_{la2})
4.0816	12359.18	3.830	0.0075	62.1947
Pérdida de presión del sistema				$(\Delta P_{sistema})$
				105.4874

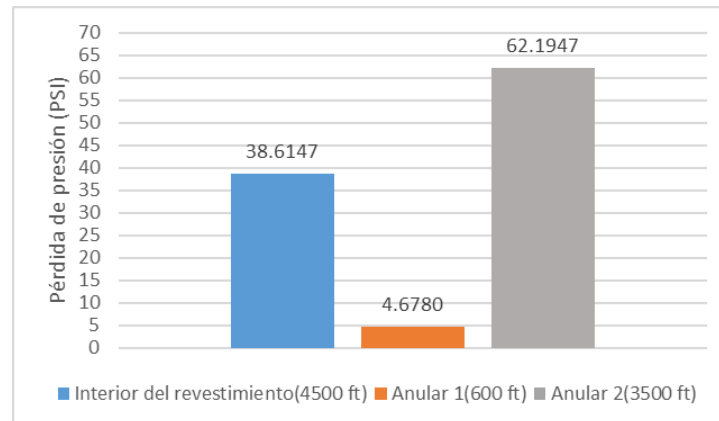


Figura 5. Pérdidas de presión en el interior del revestimiento y en el anular.

En la Figura 6 se muestran los porcentajes de las caídas de presión correspondientes a las secciones analizadas por el modelo.

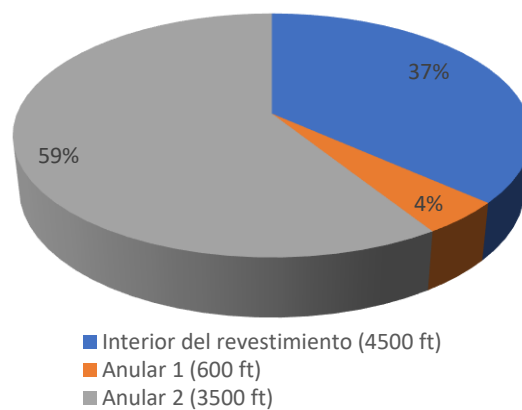


Figura 6. Porcentaje de caída de presión del Sistema

Los resultados de la hidráulica del trepao se muestran en la Tabla 3, considerando las condiciones de operación y especificaciones del problema propuesto.

Tabla 3. Resultados de la Hidráulica del pozo

Área total del flujo	0.6481	in²
Caída de presión del TRP	1683.86	PSI
Caída de presión total	1810.45	PSI
Factor de correlación	1.2	
Potencia hidráulica al TRP	785.93	HP
Potencia hidráulica total del sistema	1044.4	HP
Eficiencia mecánica	0.87	
Eficiencia volumétrica	0.93	
Velocidad del flujo para el trepano	395	ft/s
Fuerza de impacto	1964.73	Lbf
Porcentaje de caída de presión en el TRP	93	%
ECD	12.31	Lb/gal

La caída de presión del Sistema es considerada únicamente la suma de las tres pérdidas de presión analizadas por el modelo y tiene un porcentaje no significativo en la caída de presión total como se muestra en la Figura 7.

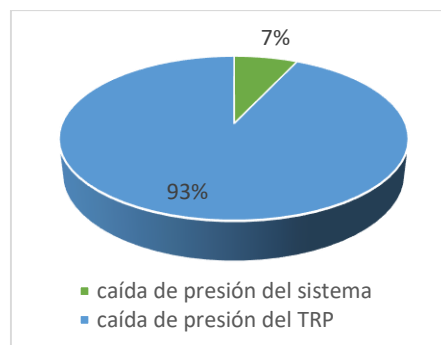


Figura 7. Caída de presión total del sistema.

Discusión

El modelamiento de la hidráulica de la perforación con tecnología de revestimiento, se desarrolló mediante el modelo plástico de Bingham aplicado a un caso práctico. Dicho modelo únicamente considera el análisis hidráulico convencional a partir de las caídas de presión en el interior del revestimiento y en la sección anular. En el caso analizado se obtuvo una menor pérdida de presión en el interior de la sarta en comparación a la suma de las pérdidas obtenidas en el espacio anular, esto se debe a que por dentro del revestimiento no se tienen restricciones y las pérdidas de presión son muy pocas. Por el contrario, el anular ofrece mayor restricción al flujo y las pérdidas de presión son más altas que las que se dan en anulares convencionales.

Los resultados muestran una pérdida de presión total de 105.4874 PSI en la tubería de perforación. Debido a que la menor pérdida de presión de anulares se da en el anular a la profundidad de 600 ft (ΔP_{la1}), y la mayor pérdida de presión en el anular a 3500 ft (ΔP_{ta2}) se observó un significativo incremento de la presión conforme al aumento de la profundidad en la sección anular, por lo que se recomienda aumentar el diámetro del agujero en esa sección de la tubería y controlar las propiedades del fluido con el propósito de disminuir la pérdida de presión durante la perforación y conservar la estabilidad del pozo evitando problemas operacionales.

Se analizaron los resultados de la hidráulica de la perforación, donde se presentó un significativo porcentaje de caída de presión en el trepano dado que se consideraron como pérdidas de presión del sistema únicamente las obtenidas por el modelo, por lo tanto, se infiere que el fluido cumple con las propiedades ideales para los requerimientos de operación de la perforación con revestimiento planteadas en el caso de estudio hipotético. Para obtener resultados más precisos de la hidráulica se deben considerar las pérdidas de presión por fricción en la superficie, de acuerdo al tipo de pozo [9].

Los resultados del modelamiento son considerados viables en comparación con los resultados de Tabla 4 [10] para perforaciones con revestimiento (CWD) por sus siglas en inglés, donde se perfora a 2933 ft con tuberías de revestimiento de mayor diámetro (18-5/8) y se presentan pérdidas de presión en el anular aproximadas para la tubería de 13-3/8, aun a la gran diferencia de diámetros. En la comparación también se tiene que las caídas de presión en el trepano difieren significativamente debido a las mayores velocidades de flujo al trepano obtenidas en el modelamiento. Lo anterior puede asociarse a la baja calidad de los datos de entrada, ya que en la simulación se hace uso de una densidad de lodo menor (10 Lb/gal) a la del presente modelamiento.

Los resultados de [10], también nos muestra el comportamiento de la hidráulica para un sistema de perforación convencional de igual diámetro (13-3/8) a 2460 ft, donde se presentan caídas de presión mayores en la sección anular en comparación con los resultados del caso práctico, lo anterior es aceptable debido a la mayor velocidad del fluido en el anular, pero es importante monitorear los resultados del interior del revestimiento(casing) debido a que por lo regular en sistemas con revestimiento las pérdidas de presión deben de ser menores a las presentadas en la perforación convencional.

Tabla 4. Comparación de los Parámetros de la Hidráulica

Parámetro	Perforación con casing a 3500ft (Caso hipotético)	Perforación con casing a 2933 ft [10]	Perforación convencional a 2460 ft [10]
Densidad del lodo (Lb/gal)	12	10	10
Caudal (GPM)	800	800	800
Diámetro de la tubería	13-3/8	18-5/8	13-3/8
Casing ΔP (PSI)	38.6147	9.14	3
TRP ΔP (PSI)	1683.86	683	1164
Anular ΔP (PSI)	62.1947	97.17	76
Velocidad del flujo al TRP (ft/min)	23700	17322.8	23220
ECD (Lb/gal)	12.31	11.3	10.4
Velocidad anular (ft/min)	244.896	142	154

Actualmente no existen más resultados comparables con el modelamiento debido a los escasos estudios sobre el comportamiento de la hidráulica de pozos en perforación con la técnica de revestimiento, por lo que se considera de suma importancia adentrar en el estudio y análisis de la técnica para aportar a su desarrollo.

Trabajo a futuros

Diseñar un software para aplicar el modelo a registros de pozos en perforación y verificar la exactitud del modelo en comparación con simuladores robustos. Se planea añadir ecuaciones al programa para modelar pérdidas de presión en componentes externos (pérdidas de presión en la superficie) con la finalidad de obtener resultados de la hidráulica más precisos con relación al tipo de pozo de estudio.

Conclusiones

Los resultados del modelamiento no muestran algún episodio de pérdida de circulación significativo o grave, por lo tanto, estas operaciones con tubería de 24 pulgadas y 13-3/8 pulgadas demostraron la viabilidad de la perforación direccional con tubería de revestimiento. Los resultados de la hidráulica indican que el mayor porcentaje de caída de presión total del sistema corresponde a las pérdidas de presión en el trépano considerando únicamente las obtenidas en el modelo reológico.

El análisis de los resultados del modelamiento permite validar que el fluido cumple con las propiedades ideales para las condiciones de operación planteadas en el caso de estudio hipotético de acuerdo con las pérdidas de presión obtenidas, por ello el modelamiento proporciona así una herramienta útil para el monitoreo rápido de la hidráulica y pérdidas de presión de pozos petroleros en perforación no convencional.

Referencias

- [1] C. M. Rengifo Abadia, J. M. Arroyave Zuluaga y C. M. Sierra Restrepo, "Análisis de la hidráulica de la perforación con revestimiento," *Dyna*, vol. 73, no. 150, pp. 5-19, 2006.
- [2] G. H. Moreno Vargas y J. A. Ballesteros Benavides, "Perforación de pozos de petróleo con la técnica no convencional Casin Drilling," Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Sant, Colombia, 2011.
- [3] Weatherford.(2018). Retrievable DwC™ Drilling-with-Casing system. [En línea]. disponible: <https://www.weatherford.com/documents/brochure/products-and-services/drilling/retrievable-dwc-drilling-with-casing-system/>
- [4] T. M. Warren, K. R. Fontenot, B. Lesso y R. D. Strickler, "Perforación de pozos direccionales," *Oilfield Review*, pp. 46-65, 2005.
- [5] B. Pavković, R. Bizjak y B. Petrović, "Review of casing while drilling technology," *Podzemni radovi*, no. 29, pp. 11-32, 2016.
- [6] P. Dipal, V. Thakar, P. Sivakumar, M. Shah y S. Anirbid, "A review on casing while drilling technology for oil and gas production with well control model and economical analysis," *Petroleum*, vol. 5, no 1, pp. 1-12, 2019.
- [7] D. Hawker.(2001). Hidráulica de los fluidos de perforación. [En línea].disponible: <https://issuu.com/biliovirtual/docs/hidraulica-de-fluido-de-perforacion>
- [8] Schlumberger.Hidraulica de la perforación: Programa de entrenamiento acelerado para ingenieros superviores de pozos.[En línea]. disponible: https://www.academia.edu/38939792/HIDR%C3%81ULICA_DE_LA_PERFORACI%C3%93N_HIDR%C3%81ULICA_DE_LA_PERFORACI%C3%93N_Programa_de_Entrenamiento_Acelerado_para_Ingenieros_Su_pervisores_de_Pozo.
- [9] W. D. Calderón Cortez y C. D. Lomas Saavedra, "Determinación de la hidráulica óptima de perforación de pozos direccionales para el Campo Oso," Tesis de licenciatura, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2015.
- [10] F. Sánchez, H. Said, M. Turki y M. Cruz, "Casing While Drilling(CWD): A New Approach To Drilling Fiq Formationin heSultanate of Oman: A succes story," *SPE Drilling & Completion*, vol. 27, pp. 233-232, 2012.

Degradación de petróleo crudo usando plantas de *Macuilis (Tabebuia rosea)*

M. J. Martínez-Montero¹, J. Barajas-Fernández¹, I. Pérez-Hernández², M.E Ojeda-Morales¹, J.G. Alvarez-Ramírez^{1*}

¹División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, km 1 carretera Cunduacán-Jalpa, Colonia la Esmeralda, Cunduacán, Tabasco, 86690, México.

²Academia de Ingeniería en Agrotecnología, Universidad Politécnica del Golfo de México., Carretera Federal Malpaso-El Bellote km. 17, Ranchería Monte Adentro, 86600 Paraíso, Tabasco, Mexico.

*gabriel.alvarez@ujat.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

La contaminación es uno de los problemas más importantes de la actualidad. En Tabasco existen grandes extensiones de suelo contaminado con hidrocarburos del petróleo, esto debido a la actividad petrolera que se lleva a cabo en diversas partes de la entidad. La fitorremediación es una técnica de remediación de suelos segura desde el punto de vista ambiental.

En el presente se evaluó la degradación de hidrocarburos en un suelo contaminado y la sobrevivencia de plantas de *Macuilis (Tabebuia rosea)*. Se sembraron semillas de *Macuilis (Tabebuia rosea)*. El suelo a utilizado fue un Vertisol no contaminado por hidrocarburos del petróleo. Se establecieron tres tratamientos con contenidos de petróleo crudo de 12.9 °API (T1: 5000, T2: 10000 y T3: 15000 mg kg⁻¹), el testigo fue el suelo sin contaminar. La sobrevivencia de las plantas fue del 90% al finalizar el experimento y el tratamiento T3 presentó un valor de 49% de degradación TPH.

Palabras clave: Fitorremediación, HTP, Suelo contaminado, Germinación.

Abstract

Contamination is one of the most important problems today. In Tabasco there are large areas of soil contaminated with petroleum hydrocarbons, due to the oil activity that takes place in various parts of the entity. Phytoremediation is an environmentally safe soil remediation technique.

*In this paper, the degradation of hydrocarbons in a contaminated soil and the survival of *Macuilis* plants (*Tabebuia rosea*) were evaluated. *Macuilis (Tabebuia rosea)* seeds were sown. The soil used was a Vertisol not contaminated by petroleum hydrocarbons. Three treatments with crude oil contents of 12.9 °API (T1: 5000, T2: 10000 and T3: 15000 mg kg⁻¹) were established, the control was the uncontaminated soil. The survival of the plants was 90% at the end of the experiment and the T3 treatment presented a value of 49% of TPH degradation.*

Key words: Phytoremediation, HTP, Soil contaminated soil, Germination.

Introducción

La sociedad moderna se caracteriza por la emisión continua de contaminantes al medio ambiente. La contaminación es un problema grave porque atenta contra la vida, por lo cual las investigaciones se centran en buscar métodos para reparar los daños causados por los contaminantes.

El inicio de la actividad petrolera en la década de los cincuenta y su crecimiento acelerado generó un impacto ambiental negativo en las zonas petroleras [1]. En el estado de Tabasco se han presentado contingencias debido a la industria petrolera afectando grandes extensiones en los municipios de Cárdenas, Cunduacán, Comalcalco y Huimanguillo [2]. El Heraldo de Tabasco (2020)

señaló que en el 2020 se reportaron casos de derrames de hidrocarburos provenientes del campo Samaria, lo cual afectó cultivos y cuerpos de agua. Resaltando los daños en la zona de Cumuapa en el municipio de Cunduacán. En el municipio de Paraíso, en la zona litoral de la comunidad el bellote se presentó un derrame, dicha contingencia afectó la actividad pesquera. La suma de estas contingencias sitúa al estado de Tabasco en el primer lugar con derrames de hidrocarburos y contaminación de suelos.

Los tratamientos fisicoquímicos para restauración de suelos de tienen costos altos y una eficacia limitada. Por lo anterior se han propuesto alternativas de bajo costo y sustentable como la fitorremediación[3,4].

La definición de la fitorremediación es el conjunto de tecnologías que reducen la concentración de contaminantes de suelo a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas. La fitorremediación utiliza las plantas para acumular, degradar u estabilizar contaminantes [5-9]. Las ventajas de la fitorremediación es son procesos *in situ*, de costo bajo comparado con otros métodos pero sobre todo amigable con el ambiente para aplicarse en gran escala. En la literatura se encuentran reportadas diversas especies utilizadas en la fitorremediación.

Algunas plantas, como las hidrófitas, tienen capacidades de limpieza intrínseca, pero su eficiencia varía entre especies. *Mirabilis Jalapa* en concentraciones de hidrocarburos de petróleo 10,000 mgkg⁻¹ obtuvo la degradación de 41.61–63.20 % en 127 días. *Impatiens balsamina* en concentraciones de hidrocarburos de petróleo 5,000–10,000 mgkg⁻¹ obtuvo la degradación de 18.13–65.03 % en 4 meses. *Lolium multiflorum* en concentraciones de hidrocarburos de petróleo 6,000 mgkg⁻¹ obtuvo la degradación de 59 % en 80 días (Alarcón et al., 2008). Algunos ejemplos las especies vegetales que tiene la capacidad de acumular metales pesados como el mercurio, níquel y cobalto [10-16].

Los árboles tienen la capacidad de registrar los fenómenos que ocurren en el medio ambiente porque pueden vivir hasta 4844 años. Los sistemas de transporte de los árboles les permiten asimilar metabolitos y llevarlos hacia el tronco u hojas donde son acumulados o degradados. En México se han investigado sobre el uso de gramíneas y leguminosas en la fitorremediación [17]. En la presente propuesta se propone estudiar plantas de árboles de Macuilis en suelos contaminados y observar su capacidad de degradación de petróleo crudo.

Metodología

Cultivo de plantas y suelo

Las semillas de Macuilis (*Tabebuia rosea*) se sembraron en camas de germinación. Antes de sembrarlas, las semillas se sumergieron en agua durante 12 h antes de la siembra.

El suelo utilizado fue un suelo tipo Vertisol no contaminado por hidrocarburos del petróleo. El suelo se colectó a una profundidad de 20 cm, en la comunidad de Benito Juárez 2da Jalpa de Méndez, Tabasco, México. El suelo se secó al aire bajo sombra y posteriormente se molió utilizando un rodillo de madera para obtener un tamaño uniforme. La siguiente etapa fue el tamizado en una malla de 0.5 cm para homogenizar el tamaño de partícula.

Contaminación del suelo

El petróleo usado fue un crudo pesado de 12.9° API que se obtuvo de un pozo petrolero de Texistepec Veracruz (17° 54" 20.93 N y 94°48" 16.07" O). El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, se establecieron cuatro tratamientos con cuatro replicas por tratamiento. Se establecieron tres tratamientos con contenidos de petróleo crudo (T1: 5000, T2: 10000, T3: 15000 ppm), el testigo fue el suelo sin contaminar (T0 = 0 ppm).

Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: semillas germinadas, altura de las plantas, supervivencia de las plantas y biomasa aérea y radicular con registros cada ocho días.

La determinación de los Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP's)

Los HTP se determinó por el método EPA 3550C, Extracción Soxhlet marcadas en la NMX-AA-134-SCFI-200.

Resultados y discusión

Germinación

En la Figura 1 se muestra el porcentaje de germinación de *Macuilis* (*Tabebuia rosea*) en función del tiempo para los tratamientos. El porcentaje de germinación promedio de *Tabebuia rosea* en el suelo, en todas las concentraciones, no fue significativamente diferente ($P < 0.05$) de la del suelo sin petróleo (T0). El porcentaje germinación no fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en el suelo con petróleo (T1 = 86%, T2 = 100%, T3 = 47%) en relación con el tratamiento testigo (100%). Para *Tabebuia rosea* la germinación de semillas inicio a los ocho días después del inicio del experimento, el suelo con petróleo tenía una cantidad significativamente mayor de semillas germinadas. El tratamiento (T1) obtuvo en el primer registro al inicio del experimento el 17% de germinación, seguido del (T3) 7%, el (T2) 10% y el suelo testigo 16%.

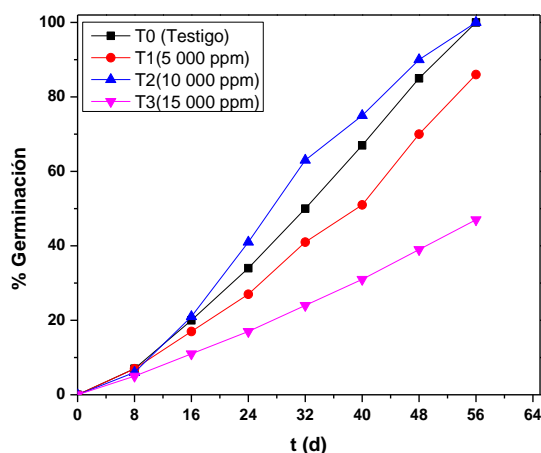


Figura 1. Germinación promedio de las plantas de *Macuilis* en función del tiempo a diferentes concentraciones de petróleo crudo.

Los resultados mostraron que la germinación de semillas evaluadas no sufrió ningún efecto negativo debido a la presencia de petróleo crudo pesado en los tratamientos utilizados; al contrario, la presencia de petróleo en el suelo aumentó y aceleró la germinación de las semillas de 40 hasta 100% de germinación [18] señalan que algunas especies vegetales tienen cualidades que incrementan la velocidad de germinación en suelos contaminados con petróleo y se estimula la germinación de ciertas especies. Rivera (2004) señala que el incremento en la germinación está relacionado con la presencia del petróleo y el incremento en la cantidad de agua que entra a las semillas que permiten la germinación en un tiempo menor [19].

La germinación de las semillas *Macuilis* puede deberse a que se utilizaron semillas "frescas" que tienen una capa permeable lo cual permitió que el petróleo entrara dentro de ellas de tal manera que no fue tóxico en la fase de germinación. Otro punto a favor de la germinación, es el tipo de petróleo usado en el estudio (petróleo pesado), con un contenido bajo de fracciones ligeras porque las fracciones ligeras son más tóxicas que las fracciones medias y pesadas [20].

Tasa de crecimiento relativo (TCR)

El análisis de crecimiento de plántulas de las especies arbóreas es una herramienta ampliamente usada en áreas tan diferentes como en el fitomejoramiento, la fisiología y en la ecología de las plantas. El crecimiento de las plantas depende del genotipo, el medio ambiente y sus variaciones. En la Figura 2 se muestra la altura de las plantas de Macuilis (*Tabebuia rosea*) en función del tiempo para los tratamientos. Al final del experimento las especies de *Tabebuia rosea* fueron significativamente más altas en el suelo con petróleo con relación al testigo (T0) ($P < 0.05$). El análisis de Tukey mostro diferencias significativas entre tratamientos de *Tabebuia rosea* ($p < 0.05$). Las semillas de macuilis iniciaron su germinación a los ocho días de su sembrado en el suelo contaminado en el primer registro al inicio del experimento de 26% de germinación. La mayor altura se presentó en el (T2) de 13.5 cm, (T0) de 13.5 cm, (T3) 13.3 cm y la menor con 12.1 cm en (T1).

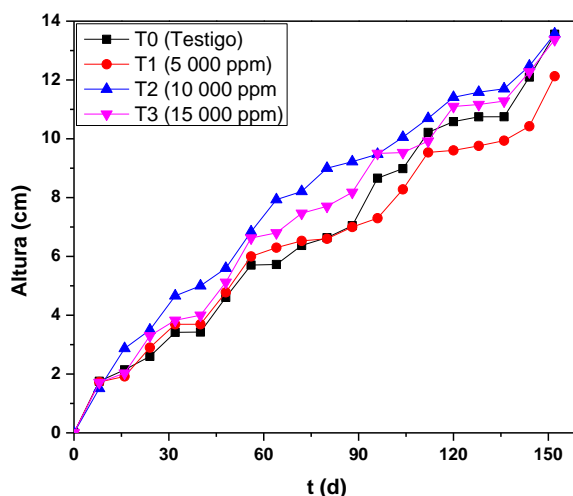


Figura 2. Altura promedio de las plantas de Macuilis en función del tiempo a diferentes concentraciones de petróleo crudo.

La germinación y desarrollo de las plantas dependen del tipo de petróleo o sus derivados, concentración, tiempo de exposición y sobretodo de la especie vegetal. Adam & Duncan (2002) señalan que el petróleo estimula la germinación de ciertas especies [23]. Las semillas de Macuilis (*Tabebuia rosea*) mostraron un incremento en la germinación en el suelo contaminado con petróleo.

A los 127 días, el efecto de la planta, condición del suelo y tratamiento fue diferencialmente significativo para la mayoría de las variables de crecimiento de las plantas. Pérez- Hernández (2013) señalan una disminución drástica de la altura en plantas de Macuilis a concentraciones de 20000-57000 mgkg⁻¹ de petróleo crudo [20].

Biomasa aérea y de raíz

En la Figura 3 se muestra la biomasa de Macuilis (*Tabebuia rosea*) en función del tiempo para los tratamientos. La acumulación de la biomasa no fue significativamente diferente ($P < 0.05$) en todas las concentraciones de TPH de la del suelo sin petróleo (T0).

La biomasa no mostró diferencias significativas entre los diversos tratamientos con petróleo. El mayor porcentaje de biomasa se presentó en los tratamientos T2, T3, T0 con respecto a T1.

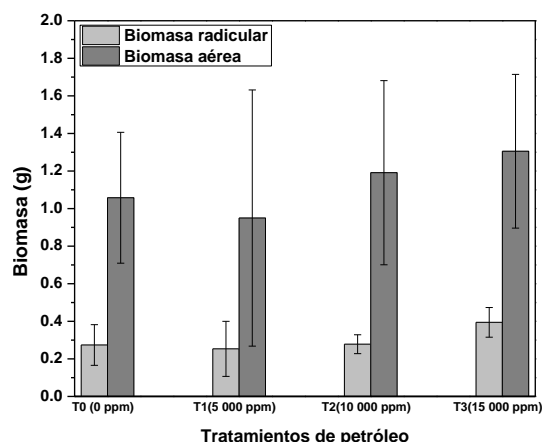


Figura 3. Biomasa seca aérea y de raíz de plantas de Macuilis sembradas en suelo contaminado con petróleo crudo a diferentes concentraciones.

En el estudio de Pérez-Hernández (2013) se presenta disminución de la biomasa debido a las altas concentraciones [20]. En el presente estudio las concentraciones de petróleo en suelo contaminado resultan no ser tóxicas para las plantas Macuilis, pero puede afectar en la fertilidad del suelo y desarrollo de las plantas. Al respecto, ciertas concentraciones de hidrocarburos del petróleo pueden estimular la germinación y el crecimiento de algunas plantas [21].

El efecto del suelo contaminado en el desarrollo de las plantas, así como la germinación dependen del tipo de petróleo, concentración, tiempo de exposición y especialmente de la especie vegetal [20]. Pérez- Hernández (2013) también señalan una disminución drástica en la biomasa en plantas de Macuilis a concentraciones de 20000-57000 mgkg⁻¹ de petróleo crudo [20].

Determinación HTP

En la gráfica 4 se observa el porcentaje de HTP en función de los tratamientos de Macuilis. El mayor porcentaje de degradación de HTP se encontró en T3 de *Tabebuia rosea* (48.97%). Las diferencias con los tratamientos restantes (concentraciones de petróleo en el suelo y especies de plantas) no fueron significativas ($P < 0.05$).

La degradación de HTP para el *Macuilis* (*Tabebuia rosea*) fue de 48.97 y 36.3 % (T3 y T1).

Comparando los resultados con otros estudios, la fitorremediación con pastos es más apropiada que los árboles [22]. El uso de árboles no mejora la degradación de TPH sin embargo presentan tolerancia a los hidrocarburos para sobrevivir con vigor combinado con microorganismos y mezclados con pastos pueden ser una opción viable en la fitorremediación.

Los beneficios ambientales y económicos directos e indirectos al usar árboles en suelos contaminados como son la formación de horizontes orgánicos a favor de la germinación, promover la captura de carbono, hábitat, comida y áreas de refugio para los animales.

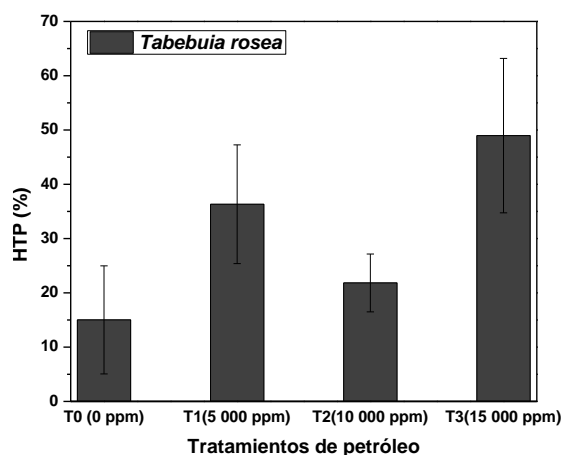


Figura 4. Degradación de HTP usando plantas de *Macuilis* sembradas en suelo contaminado con petróleo crudo a diferentes concentraciones.

Trabajo a futuro

Se propone continuar el estudio de las plantas con otras concentraciones de petróleo. Se puede plantear la posibilidad de usar otra especie vegetal.

Conclusiones

Durante el estudio de la especie *Macuilis* (*Tabebuia rosea*) en suelo contaminado con hidrocarburos totales de petróleo a diferentes concentraciones se deduce que la germinación de esta especie no fue afectada por el petróleo a modo que este ayudo en la estimulación y germinación de la planta. Sin embargo, no favoreció en la altura de la planta y biomasa, puesto que esta disminuyo.

Concluyendo que la fitorremediación con árboles en combinación con la fitorremediación con pasto es mejor. Generando beneficios al ambiente y reducción de presupuesto. Mostrando que en el T3 (15000 ppm) obtuvo una mayor degradación del 48.97%. La supervivencia de esta especie en todas las concentraciones de petróleo a la que fue sometida es alta, concluyendo que esta especie es resistente y tolera un ambiente contaminado por petróleo.

Agradecimientos

Laboratorio de Biotecnología, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Referencias

- [1] M.J. Pinkus-Rendón and A. Contreras-Sánchez, "Impacto socioambiental de la industria petrolera en Tabasco: el caso de la Chontalpa," *Liminar*, vol.10, no.2, pp.1665-8027,2012.
- [2] S. Ochoa-Gaona, I. Pérez-Hernández, J.A. Frías-Hernández, A. Jarquín-Sánchez and A. Méndez-Valencia. Estudio prospectivo de especies arbóreas promisorias para la fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental y El Colegio de la Frontera Sur. Villahermosa, Tabasco, México. 144 p., 2011.
- [3] O. V. Singh, S. Labana, G. Pandey, R. Budhiraja and R.K. Jain, "Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil", *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol.61, no.5-6, pp.405-412, 2003.

- [4] R.H. Adams and F. Morales-García. "Concentración residual de hidrocarburos en suelo del trópico. I: Consideraciones para la salud pública y protección al ganado". *Interciencia*, vol. 33, no. 7, pp. 476-482, 2008.
- [5] C. Kelley, K.K. Gaither, A. Baca-Spry and B.J. Cruickshank, "Incorporation of phytoremediation strategies into the introductory chemistry laboratory", *Chem Educator*. Vol. 5, pp. 140-143, 2000.
- [6] P. Miretzky, A. Saralegui and A. Fernández-Cirelli, "Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals", *Chemosphere*, vol. 57, pp. 997-1005, 2004.
- [7] S. Cherian and M. Oliveira, "Transgenic Plants in Phytoremediation: Recent Advances and New Possibilities," *Environmental Science y Technology*, vol.39, no.24, pp.9377-9390, 2005.
- [8] S. Eapen, K.N. Suseelan, S. Tivarekar, S.A. Kotwal and R. Mitra, "Potential for rhizofiltration of uranium using hairy root cultures of Brassica juncea and Chenopodium amaranticolor", *Environmental Research*. Vol. 91, no. 2, pp. 127-133, 2003.
- [9] C. Cho, M. Yavuz-Corapcioglu, S. Park and K. Sung, "Effects of Grasses on the Fate of VOCs in Contaminated Soil and Air". *Water, Air, & Soil Pollution*. Vol. 187, pp. 243-250, 2008.
- [10] M. E. Watanabe, "Phytoremediation on the Brink of Commercialization," *Environmental Science y Technology*, vol.31, no.4, pp.182-186,1997.
- [11] R.D. Reeves, A.J.M Baker, A. Borhidi and R. Berazain, "Nickel hyperaccumulation in the serpentine flora of Cuba", *Annals of Botany*, vol. 83, pp. 29-38, 1999.
- [12] S.P. McGrath, F.J. Zhao and E. Lombi, "Plant and rhizosphere processes involved in phytoremediation of metal-contaminated soils", *Plant and Soil*., vol. 232, pp. 207-214, 2001.
- [13] M. Kamal, A.E. Ghaly, N. Mahmoud and R. Cote, "Phytoaccumulation of heavy metals by aquatic plants", *Environment International*, vol. 29, pp. 1029-1039, 2004.
- [14] X. E. Yang, X. X. Long, H.B. Ye, Z.L. He, D.V. Calvert and P.J. Stoffella, "Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new Zn-hyperaccumulating plant species (*Sedum alfredii* Hance)", *Plant and Soil*, vol. 259, pp. 181-189, 2004.
- [15] R. D. Reeves, "Hyperaccumulation of trace elements by plants. En: Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils". Springer Netherlands (ed), 2004.
- [16] P.K. Padmavathamma and L.Y. Li, "Phytoremediation Technology: Hyper- accumulation Metals in Plants". *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 184, pp. 105-126, 2007.
- [17] W. San Gabriel, R. Ferrera-Cerrato, D. Trejo-Aguilar, M.R. Mendoza-López, J.S. Cruz-Sánchez and C. López-Ortiz, J. Delgadillo-Martínez, A. Alarcon, "Tolerancia y capacidad de fitorremediación de combustóleo en el suelo por seis especies vegetales," *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol.22, no.2, pp. 63-73, 2006.
- [18] G. Adam and H. Duncan, "Influence of diesel fuel on seed germination," *Environmental Pollution*, vol.120, no.2, pp. 363-370,2002.
- [19] M.C. Rivera-Cruz and A. Trujillo-Narcía, "Estudio de toxicidad vegetal en suelos con petróleos nuevo e intemperizado", *Interciencia*, vol. 29, pp. 369-376, 2004.
- [20] I. Pérez-Hernández, S. Ochoa-Gaona, R.H. Adams Schroeder, M.C. Rivera-Cruz and V. Geissen, "Tolerance of Four Tropical Tree Species to Heavy Petroleum Contamination", *Water Air Soil Pollut*, vol. 224, pp.1637-1649, 2013.
- [21] E.E. Quiñones-Aguilar, R. Ferrera-Cerrato, F. Gavi-Reyes, L. Fernández-Linares, R. Rodríguez-Vázquez and A. Alarcón, "Emergence and growth of maize in a crude oil polluted soil", *Agrociencia*, vol. 37, pp. 585-594, 2003.
- [22] M.C. Rivera-Cruz, E. Maldonado-Chávez and A. Trujillo-Narcía, "Effects of crude oil on the growth of *Brachiaria mutica* and *Leucaena leucocephala* and on soil and plant macronutrients", *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, Vol. 15, pp. S30-S39, 2012.
- [23] G. Adam and H. Duncan, "Influence of diesel fuel on seed germination", *Environmental Pollution*, vol. 120, pp. 363-370, 2002.

Reología no lineal del sistema decilsulfato de anilinio (DeSAn)/Agua

C.B. Izquierdo-Peregrino¹, M.E Ojeda-Morales¹, G. Pérez-Hernández¹, J. Barajas-Fernández¹, J-G. Álvarez - Ramírez¹

¹División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, km 1 carretera Cunduacán-Jalpa, Colonia la Esmeralda, Cunduacán, Tabasco, 86690, México.

*gabriel.alvarez@ujat.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Los tensoactivos polimerizables han ganado la atención de la comunidad científica esta debido a su versatilidad de uso dentro de la industria, además que al utilizar tensoactivo polimerizables se evita el uso de monómeros ya que el mismo tensoactivo puede ser polimerizable. En este trabajo se reporta la síntesis de un tensoactivo polimerizable catiónico el Decilsulfato de anilinio (DeSAn). El DeSAn se preparó por una reacción de sustitución entre el clorhidrato de anilina y el decilsulfato de sodio. Se realizaron mediciones reológicas no lineales en un reómetro de deformación controlada.

Los resultados se modelaron con el modelo Bautista y señalan la formación de estructuras de micelas alargadas.

Palabras clave: Tensoactivo, Reología no lineal, Modelo Bautista.

Abstract

Polymerizable surfactants have gained the attention of the scientific community due to their versatility of use within the industry, in addition to the fact that when using polymerizable surfactants the use of monomers is avoided since the same surfactant can be polymerizable. In this work, the synthesis of a polymerizable cationic surfactant, anilinium decylsulfate (DeSAn) is reported. DeSAn was prepared by a substitution reaction between aniline hydrochloride and sodium decyl sulfate. Nonlinear rheological measurements were performed in a strain-controlled rheometer.

The results were modeled with the Bautista model and indicate the formation of elongated micelle structures.

Key words: Surfactant, Nonlinear rheology, Bautista Model.

Introducción

Los tensoactivos son moléculas anfifílicas con una porción hidrofílica y otra hidrofóbica; se localizan preferentemente en la interfase de fluidos con diferentes grados de polaridad. Los tensoactivos polimerizables son aquellos que presentan un grupo polimerizable ya sea en el extremo de la porción hidrofóbica o en el contraíón.

La reología involucra la medición y predicción del comportamiento de los fluidos. La reología no lineal involucra la deformación inducida en una muestra de forma no lineal con el esfuerzo aplicado en este régimen. El comportamiento viscoelástico no lineal de un material en experimentos de flujo estacionario se caracteriza por adelgazamiento o engrosamiento al corte, transiciones de fase inducidas por el flujo y el fenómeno de flujo bandeado.

En el presente trabajo se propone la síntesis y estudio del tensoactivo polimerizable, el decilsulfato de anilinio (DeSAn) combinado con el contraíón anilinio (An) siguiendo el procedimiento y su caracterización reológica no lineal.

Metodología

Materiales

El Decilsulfato de anilinio (DeSAN) se obtuvo de la reacción entre el decilsulfato de sodio (DeSAN) con una pureza del 99% procedente de Sigma-Aldrich y el clorhidrato de anilina (HCIA) con una pureza de 99% procedente de Aldrich, siguiendo el procedimiento descrito por Zaragoza [1]. A través de la técnica de espectroscopia de infrarrojo (FTIR) se identificó los grupos funcionales que forman parte de la estructura del tensoactivo.

Preparación de muestras y medición

Para la preparación de las muestras se pesaron cantidades apropiadas del tensoactivo DeSAN y agua destilada en frascos de vidrio de 20 ml, en un intervalo de 1 a 10% en peso de tensoactivo. Los frascos de vidrio se sellaron con teflón previo a la tapa, se cubrieron con papel aluminio y se dejaron reposar durante 24 horas.

Las mediciones reológicas no lineales se realizaron en un reómetro de deformación controlada TA-INSTRUMENT ARES22 para las concentraciones de 1 al 10 % en peso de DeSAN y diferentes temperaturas (30, 40, 50 y 60°C). El DeSAN forma micelas alargadas a estas condiciones. Las geometrías utilizadas fueron cono-plato con un diámetro de 25 mm con ángulo de 0.0985 rad y cono-plato de 40 mm y ángulo de 0.0385 rad

Resultados y discusión

Barrido de deformación del sistema DeSAN/Agua

Los barridos de deformación se realizaron para evaluar la zona viscoelástica lineal del sistema, con una frecuencia de 10 rad/s y con una deformación de 0.1 – 100%. Las temperaturas analizadas fueron 30, 40, 50 y 60 °C. Para la concentración de 1% en peso, su comportamiento dominante es el viscoso. Para las concentraciones del 2, 3, 4, 5, y 10% en peso de DeSAN el comportamiento dominante es el elástico.

Flujo de corte en estado estacionario del sistema DeSAN/agua

Se realizaron barridos de esfuerzo de corte en estado estacionario en función de la concentración y la temperatura en la región de micelas alargadas tipo varilla. Las muestras analizadas fueron de 1, 2, 3, 5, 8 y 10% en peso.

En la figura 1 se presenta el esfuerzo de corte (σ) en función de la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$) a diferentes concentraciones para la temperatura de 50°C. En esta figura se puede observar un plateau en el esfuerzo de corte que aumenta a medida que la concentración de DeSAN se incrementa, y el valor del plateau en el esfuerzo para la concentración de 1% en peso de DeSAN es 1.6 Pa y el valor del plateau en el esfuerzo para la concentración de 10% en peso es 107 Pa.

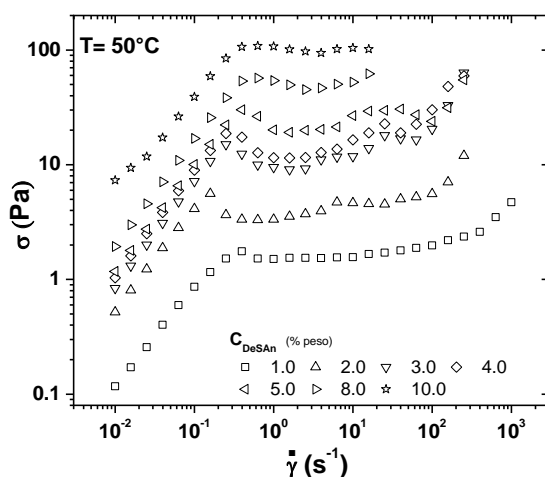


Figura 1. Esfuerzo de corte (σ) en función de la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$) para las concentraciones de 1, 2, 3, 4, 5, 8 y 10 % en peso a 50°C.

En la figura 2 nos presenta el esfuerzo de corte normalizado (σ/G_0) en función de la velocidad de corte normalizada ($\dot{\gamma}^* \tau_C$) a diferentes concentraciones para la temperatura de 50°C. Las curvas de la figura 2 se normalizaron en una curva maestra por medio de los valores de G_0 y τ_C propuesta por Berret [2]. Como se observa en esta figura para las velocidades de corte menores a $\dot{\gamma}^* \tau_C < 1$, todas las curvas presentan un comportamiento newtoniano y todos los datos colapsan en una sola curva maestra. Para $\dot{\gamma}^* \tau_C \approx 1$, se desarrolla el fenómeno de adelgazamiento al corte. En esta figura también se puede observar dos tipos de comportamiento en el esfuerzo, para altas concentraciones se observa un Plateau en el esfuerzo o un comportamiento tipo sigmoide en el esfuerzo, mientras que a bajas concentraciones el esfuerzo se incrementa continuamente con la velocidad de corte. El punto de inflexión que se observa en la curva maestra ha sido observado en varios sistemas de tensoactivos, y ha sido relacionado con los puntos críticos del esfuerzo [3,4]. A altas velocidades de corte, el esfuerzo de corte se incrementa linealmente con la velocidad de corte, indicando un comportamiento Newtoniano.

El Plateau en el esfuerzo de corte ha sido asociado con la aparición del fenómeno del flujo bandedo, que es debido a la coexistencia de dos fases fuera de equilibrio. Al someter una muestra a un esfuerzo de corte constante, el fluido se mueve en bandas de distinta velocidad de corte, una es isotrópicas de alta viscosidad y otras ordenadas de baja viscosidad. Algunos autores han explicado que el flujo bandedo es causado por inestabilidades de flujo mecánicas como por ejemplo inestabilidades de flujo elásticas [5,6] o flujos secundarios [7,8].

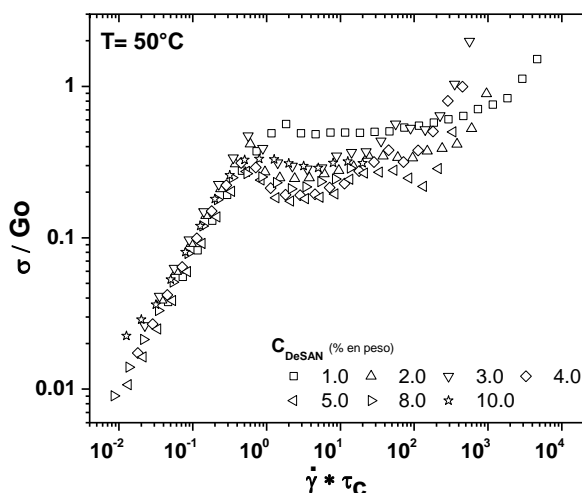


Figura 2. Esfuerzo de corte normalizado (σ/G_0) en función de la velocidad de corte normalizada ($\dot{\gamma}^* \tau_C$) para las concentraciones de 1, 2, 3, 4, 5, 8 y 10 % en peso a 50°C.

Los experimentos de esfuerzo de corte de las soluciones de DeSAN, fueron modelados por medio de la ecuación 1 del modelo Bautista [9] utilizando como parámetros de ajuste los datos de la tabla 1. Estos parámetros fueron obtenidos a partir de experimentos reológicos independientes y con el mejor ajuste de la ecuación con los datos experimentales:

$$\varphi^2 - \varphi_0 \varphi - k_0 \lambda (1 + \mu_1 \dot{\gamma}) (\varphi_\alpha - \varphi) \dot{\gamma} = 0$$

Ec. 1

En la figura 3 se muestran las simulaciones del modelo por medio de las líneas continuas. Se puede observar que el modelo predice los datos experimentales en todo el intervalo de velocidades de corte en las temperaturas estudiadas.

Los parámetros que utiliza el modelo son los siguientes: φ_0 y φ_α que son la fluidez a velocidad de corte cero e infinita, respectivamente. λ es el tiempo de relajación de la estructura y k_0 es la constante de velocidad de destrucción en ausencia de flujo bandedo, μ_1 es el parámetro de intensidad de flujo bandedo. Estos parámetros

pueden ser obtenidos de experimentos reológicos independientes como lo son las mediciones oscilatorias dinámicas, barridos de corte y relajación de esfuerzos.

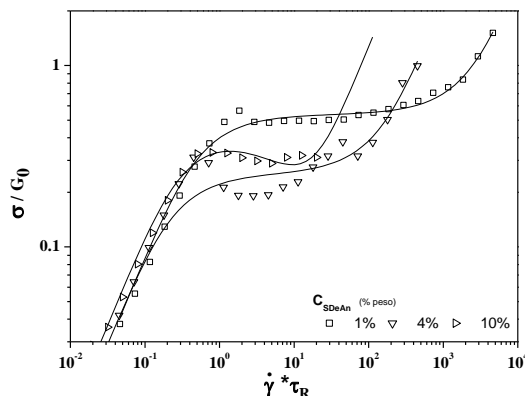


Figura 3. Esfuerzo de corte normalizado (σ/σ_0) en función de la velocidad de corte normalizada ($\dot{\gamma} * \tau_R$). Las líneas continuas representan el mejor ajuste del modelo bautista.

En la tabla 1 se presentan todos los parámetros obtenidos de los experimentos reológicos independientes y con el mejor ajuste del modelo de Bautista.

Tabla 1. Parámetros obtenidos con el modelo de Bautista y a partir de mediciones reológicas no lineales independientes para soluciones de DeSAN a 50°C.

C_{DeSAN}	$k\sigma\lambda$	μ	ϕ_0	$\phi\alpha$
1.0	0.0016	0.00105	0.1	212.31
2.0	0.00255	0.01591	0.01924	20.92488
3.0	0.00162	0.03228	0.01191	3.95273
4.0	0.00127	0.0153	0.00966	3.32049
5.0	0.00105	0.0911	0.00885	1.30097
8.0	0.00033	0.90996	0.00516	0.25611
10.0	0.00061	0.59008	0.00137	0.09606

Crecimiento en el esfuerzo del sistema DeSAN/agua.

Las soluciones de DeSAN se sometieron a un flujo cortante simple manteniendo la velocidad de corte constante hasta que se alcanzara el estado estacionario. En la figura 4 se muestra el crecimiento de esfuerzo (σ) en función del tiempo al ser sometidos a una deformación a distintas velocidades de corte para la concentración de 4% en peso de DeSAN. En esta figura se observa que cuando la muestra es deformada a una velocidad de corte pequeña en la región Newtoniana, el esfuerzo obedece el modelo de Maxwell con un crecimiento monótonico en el esfuerzo y no se detectan oscilaciones. Sin embargo, cuando la velocidad de corte es aplicada en la región de flujo bandeado se observan oscilaciones en el esfuerzo que incrementa su magnitud con el aumento de la velocidad de corte, y las oscilaciones en el esfuerzo se presentan a tiempos más cortos debido a las inestabilidades de flujo.

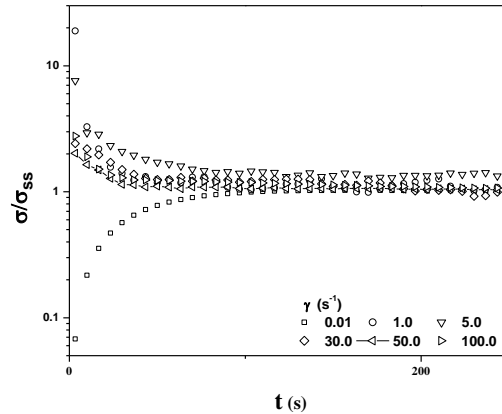


Figura 4. Crecimiento de esfuerzo normalizado (σ/σ_{ss}) en función del tiempo (t) a diferentes velocidades de corte a 30°C.

Relajación de esfuerzos del sistema DeSAN/agua.

La relajación de esfuerzo consiste en deformar las soluciones de DeSAN a una velocidad de corte constante hasta lograr el estado estacionario e interrumpir el corte.

En la figura 5 se muestra la relajación de esfuerzo normalizado (σ/σ_{ee}) después del cese de flujo cortante a distintas velocidades de corte para la concentración del 4% en peso de DeSAN. En esta figura se puede observar que a bajas velocidades de corte aplicada el esfuerzo de relajación es mono exponencial y la curva de relajación de esfuerzos puede ser ajustada con el modelo de Maxwell utilizando el tiempo de relajación obtenido en los experimentos oscilatorios. A altas velocidades de corte, dentro y fuera de la región de flujo bandeado, es esfuerzo exhibe dos mecanismos de relajación, uno rápido y otro lento. Lo anterior indica que coexisten dos estructuras en la región de flujo bandeado y que estas permanecen aún a altas velocidades de corte. También se observa que el modelo de Bautista predice la curva de relajación de esfuerzos.

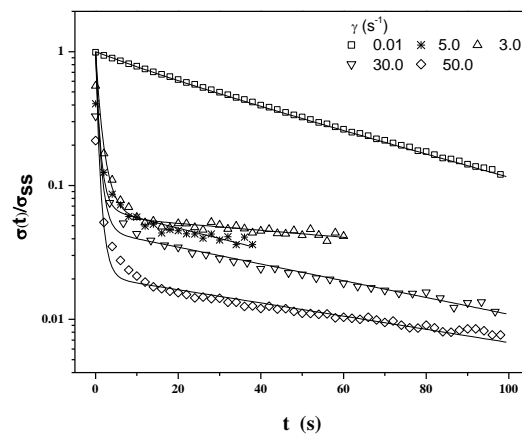


Figura 5. Esfuerzo normalizado(σ/σ_{ss}) como una función del tiempo a diferentes velocidades de corte en estado estacionario a 50°. Las líneas continuas representan el mejor ajuste del modelo Bautista.

Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro se propone realizar el estudio reológico no lineal del sistema para concentraciones intermedias y modelar los datos.

Conclusiones

El Decilsulfato de anilinio (DeSAn) forma micelas alargadas en soluciones acuosas muy diluidas mostrando fuerte hidrofobicidad debido a su contracción. Los datos de los experimentos reológicos muestran que las soluciones cambian de un proceso de ruptura de micelas lenta a un proceso de ruptura rápida a altas concentraciones.

En los experimentos de corte simple a bajas concentraciones, no se observa el plateau en los experimentos de corte, pero si aparece en muestras más concentradas donde la relajación es controlada por la cinética de ruptura y reformación (régimen de rompimiento rápido). El modelo Bautista empleado predice las mediciones reológicas no lineales. El modelo reproduce los experimentos de corte simple y relajación de esfuerzos.

Referencias

- [1] E. A. Zaragoza, M. Stockton-Leal, C. A. Hernández-Escobar, Y. Hoshina, J.F. Guzmán-Lozano and T. Kobayashi, "Shyntesis of core Shell composites using an inverse surfmer", *Journal off Colloid and Interface Science*, vol.377, no.1, pp.231-236,2012.
- [2] J.F. Berret, G. Porte and J. P. Decruppe, "Inhomogeneous shear flows of wormlike micelles: mA master dynamic phase diagram", *Physical Review E*, vol. 55, no.5581, pp.1668,1997.
- [3] F. Bautista, J.F.A. Soltero, E.R. Macias, J.E. Puig and O. Manero, "Irreversible Thermodynamics Approach and Modeling of Shear Banding Flow of Wormlike Micelles", *The journal of Physical Chemistry*, vol.106, no.50, pp.13018-13026, 2002.
- [4] J. I. Escalante, E.R. Macias, F. Bautista, J.H. Pérez López, J.F.A Soltero, J.E. Puig and O. Manero, "Shear Banded Flow and Transient Rheology of cationic Wormlike Micellar Solutions", *Langmuir*, vol.19, no.17, pp.6620-6626,2003.
- [5] D.V Boger, "Viscoelastic Flows Trough Contractions", *Annual Reviews of Fluid Mechanics*, vol.19, no.10 pp.157-182, 1987.
- [6] M.T Arigo, D. Rajagopalan, N. Shapley and G. H. McKinley, "The sedimentation of a sphere through an elastic fluid", *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, vol.60, no.2, pp.225-257,1995.
- [7] R.G Larson, "Instabilities in viscoelastic flows", *Rheologica Acta*, vol.31, no.3, pp.213-263, 1992.
- [8] J. A. Byars, A. Oztekin, R. A. Brown and G. H. McKinley, "Spiral instabilities in the Flow of highly elastic fluids between rotating parallel disks", *Journal of Fluid Mechanics*, vol.271, no.50, pp.173-218,2006.
- [9] J.F.A Soltero, F. Bautista, J.E. Puig and O Manero, "Rheology of Cetyltrimethylammonium p-Toluenesulfonate-Water System 3 Nonlinear Viscoelasticity", *Langmuir*, vol.15, no.5, pp.1604-1612, 1999.

Evaluación del crecimiento y composición química de la *Oreochromis niloticus* cultivada bajo diferentes regímenes alimenticios

Chareo-Benítez Berenice¹, Juárez-Barrientos José Manuel², Alcántar-Vázquez Juan Pablo*¹

¹ Laboratorio de Acuicultura, Ciencias Agropecuarias. Universidad del Papaloapan. Campus Loma Bonita,
Oaxaca, México

² Laboratorio de Bioquímica y Mejoramiento Genético, Universidad del Papaloapan. Campus Loma Bonita,
Oaxaca, México

*Autor de correspondencia: jupasoul@hotmail.com

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Las estrategias de alimentación y el crecimiento compensatorio se pueden utilizar como una herramienta para maximizar el crecimiento, incrementar la ganancia de peso en músculo, mejorar la composición corporal e incrementar el rendimiento de las canales y la calidad de la carne. Se evaluaron cuatro diferentes regímenes de alimentación (7x0, 6x1, 5x2 y 1x1) en juveniles de tilapia del Nilo durante 36 días, posteriormente se alimentaron los siete días a la semana durante 24 días. Se registró su peso húmedo y longitud total mediante biometrías cada doce días y se analizaron en cuanto contenido de humedad, cenizas, lípidos, proteínas y carbohidratos. Después de 36 días de alimentación restringida y un periodo de 24 días de alimentación normal, se pudo observar una compensación de peso y longitud para los cuatro tratamientos. El análisis químico no reveló diferencias significativas para el contenido de proteínas o lípidos. Solo el tratamiento 7x0 presentó diferencias significativas con respecto al contenido de humedad y el tratamiento 1x1 en cuanto a contenido de carbohidratos.

Palabras clave: Tilapia del Nilo, regímenes alimenticios, análisis químicos

Abstract

Feeding strategies and compensatory growth can be used as a tool to maximize growth, increase muscle weight gain, improve body composition, and increase carcass performance and meat quality. Four different feeding regimens (7x0, 6x1, 5x2 and 1x1) were evaluated in Nile tilapia juveniles for 36 days, then fed seven days a week for 24 days. Its wet weight and total length were recorded using biometrics every twelve days and analyzed as moisture content, ash, lipids, proteins, and carbohydrates. After 36 days of restricted feeding and a 24-day period of normal feeding, weight and length compensation could be observed for all four treatments. Chemical analysis did not reveal significant differences for protein or lipid content. Only the 7x0 treatment presented significant differences with respect to the moisture content and the 1x1 treatment in terms of carbohydrate content.

Key words: Nile tilapia, feeding frequencies, growth.

Introducción

La acuicultura ha sido el sector productivo de alimentos con mayor desarrollo a nivel global con un índice general de crecimiento del 11% anual. De las especies más cultivadas se encuentran las tilapias, ubicándose en el segundo lugar en cuanto a volumen de producción a nivel mundial, esto debido a las características biológicas y de cultivo que poseen, entre ellas la aceptación de alimento comercial. En la región del Papaloapan se cuenta con las condiciones climáticas que favorecen el cultivo de la tilapia del Nilo, por lo que es necesario buscar estrategias que potencialicen el cultivo de tilapia del Nilo realizado en la zona. Dado que la alimentación es uno de los factores más importantes que influyen en su rendimiento, así como la calidad del alimento, el tamaño de la ración diaria y la frecuencia de alimentación, alimentar frecuentemente a los peces genera un mayor gasto debido al incremento en la mano de obra requerida, así como por el desperdicio de alimento no consumido por parte de los organismos. Debido a lo anterior surge la necesidad de implementar estrategias de alimentación que ayuden a minimizar los costos de producción y mejorar la calidad del agua, además de influir en la composición corporal de los peces [1,2]. Una de las estrategias más usadas es la que implica un suministro disminuido del alimento, seguido de un breve período de alimentación intensiva que les permita aumentar su longitud cerca del máximo y aumentar el factor de condición y el peso final [3]. Lo anterior, se conoce como crecimiento compensatorio, que ha sido definido como el incremento inmediato de peso que registran los animales después de haber sido sometidos por un cierto tiempo, sin afectar su integridad física de manera letal o subletal, a una restricción nutrimental por la reducción de alimento o por suministrar dietas bajas en su calidad [4]. Las estrategias de alimentación y el crecimiento compensatorio se pueden utilizar como una herramienta para maximizar el crecimiento [5], incrementar la ganancia de peso en músculo, incrementar el rendimiento de la canal y la calidad de la carne, mediante la restricción nutricional del pez en etapas clave, mejorar la eficiencia en la utilización del alimento [6] y reducir tanto el uso de mano de obra [7] como la cantidad de alimento proporcionado. Debido a lo anterior, el objetivo del presente estudio fue investigar el efecto de diferentes regímenes de alimentación sobre los parámetros de crecimiento, supervivencia y composición química de los filetes de tilapia del Nilo. Basado en los resultados será posible establecer el régimen de alimentación óptimo que permita aprovechar la respuesta compensatoria y obtener el máximo rendimiento en el cultivo.

Metodología

El presente estudio se llevó a cabo en la Unidad Acuícola Experimental de la Universidad del Papaloapan, campus Loma Bonita.

Juveniles

Los peces utilizados para esta investigación fueron obtenidos de la granja "Unidad de producción del Tesechoacan" (La Cuatezona, Veracruz) una vez terminado el periodo de reversión hormonal.

Diseño experimental

Las unidades experimentales empleadas consistieron en un sistema de recirculación cerrado compuesto por 12 tanques de 900 L conectados a una bomba de $\frac{1}{2}$ HP y un aireador de $\frac{1}{4}$ HP. Se sembraron 12 juveniles en cada unidad experimental. Se evaluaron cuatro diferentes regímenes de alimentación (Siete días a la semana: 7x0, seis días a la semana: 6x1, cinco días a la semana: 5x2 y un día sí, un día no: 1x1) durante un periodo de 36 días. Posteriormente, se alimentaron siete días a la semana (7x0) durante 24 días. Se utilizaron tres replicas por cada régimen de alimentación distribuidas de manera aleatoria dentro del sistema experimental.

Alimentación y evaluación de crecimiento.

Los peces se alimentaron cuatro veces al día. Se realizaron biometrías cada 12 días. La longitud total se obtuvo mediante un ictiometro (Aquatic Ecosystem), mientras que para el registro del peso húmedo individual se utilizó una balanza digital (Marca Ohaus, Scout, 0 a 200 g).

Análisis químico proximal

Para este proceso se comenzó analizando las muestras que fueron obtenidas de la parte lateral de pez (masa muscular superior y ventral). Se procedió a filetear el musculo en cortes finos y después secado en un horno a 55 °C durante 12 horas. Posteriormente se trituraron, tamizaron y se analizaron en cuanto a su contenido de lípidos, proteínas, cenizas y humedad y el contenido de carbohidratos se establecerá por diferencia, realizando todos los procedimientos de acuerdo con lo establecido por la AOAC.

Determinación de humedad

La humedad se determinó pesando 2 g de cada una de las muestras en una termobalanza. La termobalanza automáticamente indicó el porcentaje de humedad en solo unos minutos.

Determinación de cenizas

Para la determinación de cenizas se utilizó un equipo Muffla, balanza analítica y crisoles para colocar la muestra. El análisis se llevó a cabo siguiendo los procedimientos de la AOAC por medio del método 964.22.

Determinación de lípidos

Para la extracción de la grasa de las muestras, se utilizó un equipo Soxhlet, utilizando como solvente éter de petróleo.

Determinación de proteínas

Para la determinación de proteínas se empleó el método Kjeldahl y se utilizó un digestor y un destilador. Para la valoración se usó una bureta de 25 mL y un soporte universal, 3 gotas de indicador y HCL 0.1 N.

Análisis estadístico

Se verificaron los supuestos de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homocedasticidad (Levene) para el uso de pruebas estadísticas paramétricas. Las diferencias existentes en peso húmedo y longitud total, así como los resultados del análisis químico se evaluaron mediante un análisis de varianza de una vía. Las diferencias entre los tratamientos se compararon mediante una prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95%. Todos los análisis se realizaron en el programa Minitab19.

Resultados y discusión

Crecimiento de juveniles

Los resultados obtenidos para el peso húmedo y la longitud total durante los 60 días de experimento se encuentran en la tabla 1. El peso húmedo registró diferencias significativas ($P < 0.05$) a partir del día 36, con los grupos 7x0 y 6x1 mostrando valores más altos en comparación con el grupo 5x2 y el grupo 1x1. Mientras que para el día 48, el grupo 6x1 mostró los valores significativamente más altos ($P < 0.05$) en comparación con los grupos 5x2 y 1x1. Se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre el grupo 7x0 en comparación con el

grupo 1x1. Finalmente, para el día 60, se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) solamente en el grupo 1x1, el cual registró un peso significativamente menor en comparación con el resto de los grupos.

En cuanto a la longitud total, se registraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el día 12, donde el grupo 6x1 mostró un valor más alto en comparación a los grupos 5x2 y 1x1. El grupo 7x0 no presentó diferencias significativas. Para el día 36 hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) donde el grupo 6x1 mostró un valor más alto nuevamente en comparación a los grupos 7x0, 5x2 y 1x1. El día 48 el grupo 6x1 registró diferencias significativas ($P < 0.05$) mostrando un valor más alto en comparación con los grupos 7x0, 5x2 y 1x1 (Tabla 1). No se observaron diferencias significativas entre ninguno de los grupos analizados para el día 60.

Tabla 1. Peso húmedo (PH, g) y longitud total (LT, cm) durante los 60 días de experimentación de juveniles de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada bajo diferentes regímenes de alimentación. Promedio \pm Desv. Std.

Día/Parámetro	Tratamiento				
	7x0	6x1	5x2	1x1	
12	PH	60.7 \pm 3.8 ^a	59.3 \pm 2.6 ^a	53.5 \pm 2.9 ^a	55.7 \pm 2.3 ^a
	LT	14.2 \pm 0.1 ^{ab}	14.3 \pm 0.2 ^a	13.6 \pm 0.1 ^b	14.0 \pm 0.2 ^a
24	PH	91.3 \pm 13.6 ^a	86.6 \pm 4.1 ^a	75.2 \pm 4.3 ^a	78.5 \pm 4.0 ^a
	LT	16.3 \pm 0.5 ^a	15.8 \pm 0.1 ^a	15.3 \pm 0.5 ^a	15.6 \pm 0.3 ^a
36	PH	117.1 \pm 14.6 ^a	113.7 \pm 4.3 ^a	94.7 \pm 1.9 ^b	86.7 \pm 2.1 ^c
	LT	17.3 \pm 0.5 ^{ab}	17.6 \pm 0.2 ^a	17.1 \pm 0.1 ^{ab}	16.6 \pm 0.3 ^b
48	PH	136.9 \pm 14.9 ^{ab}	143.4 \pm 7.3 ^a	119.7 \pm 4.3 ^b	101.2 \pm 2.8 ^c
	LT	18.4 \pm 0.5 ^{ab}	18.8 \pm 0.1 ^a	17.8 \pm 0.3 ^{bc}	17.3 \pm 0.4 ^c
60	PH	159.22 \pm 10.7 ^a	165.3 \pm 13.1 ^a	154.8 \pm 10.6 ^a	136.1 \pm 6.0 ^b
	LT	19.6 \pm 0.5 ^a	19.7 \pm 0.4 ^a	19.4 \pm 0.4 ^a	18.9 \pm 0.1 ^a

*Valores con superíndice con diferente letra en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas.

Análisis químico proximal

Los resultados obtenidos para el contenido de humedad, cenizas, lípidos, proteínas y carbohidratos se encuentran en la tabla 2. El contenido de humedad registró diferencias significativas ($P < 0.05$) en el grupo 7x0 mostrando valores más altos en comparación con los grupos 6x1, 5x2 y 1x1. Para el contenido de cenizas, lípidos, proteínas no se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en ninguno de los grupos. Mientras que, para el contenido de carbohidratos se registraron diferencias significativas ($P < 0.05$) con el grupo 1x1 mostrando valores más altos en comparación con el resto de los grupos analizados.

Tabla 2. Análisis químico proximal en juveniles de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivada bajo diferentes regímenes de alimentación. Promedio \pm Desv. Std.

T	Parámetro				
	Hu	Ce	Li	Pr	Ca
7x0	74.1 \pm 3.0 ^a	4.6 \pm 0.5 ^a	2.7 \pm 1.1 ^a	85.1 \pm 0.7 ^a	2.9 \pm 1.7 ^a
6x1	72.7 \pm 0.7 ^{ab}	4.6 \pm 0.5 ^a	2.5 \pm 0.5 ^a	84.7 \pm 1.7 ^a	5.7 \pm 0.5 ^a
5x2	72.6 \pm 1.6 ^{ab}	4.3 \pm 0.5 ^a	2.8 \pm 1.1 ^a	86.7 \pm 1.1 ^a	5.2 \pm 0.9 ^a
1x1	65.2 \pm 4.9 ^b	5.6 \pm 0.5 ^a	2.6 \pm 1.1 ^a	84.2 \pm 4.8 ^a	12.8 \pm 0.1 ^a

T = tratamiento. Hu = humedad, Ce = Cenizas, Li = Lípidos, Pr = proteínas, Ca = Carbohidratos. *Valores con superíndice con diferente letra en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas.

En el presente experimento los resultados obtenidos mostraron que alimentar solo seis o cinco días a la semana no influye de manera negativa en el peso o talla final, siempre y cuando sea seguido de un periodo de realimentación. De acuerdo con Wang *et al.* [6] y Gao *et al.* [8] aplicar este proceso en juveniles de tilapia del Nilo puede aumentar la tasa de crecimiento y la eficiencia alimenticia. Por otra parte, reducir la alimentación de siete a cuatro días (grupo 1x1) mostró un efecto negativo en el crecimiento de juveniles de tilapia del Nilo. Resultados similares han sido mostrados por Villaroel *et al.* [9], quienes probaron cuatro tratamientos en juveniles de tilapia del Nilo. Los peces que fueron alimentados diariamente presentaron un consumo de alimento significativamente mayor que los que fueron sometidos a restricciones. Finalmente, el periodo de restricción de 36 días causó diferencias significativas en los pesos corporales, pero un periodo de realimentación de 24 días fue suficiente para eliminar diferencias en los tratamientos 7x0, 6x1 y 5x2. Los peces del tratamiento 1x1 donde fue mayor la restricción alimenticia presentaron un menor peso en comparación con el resto de los tratamientos, por lo tanto, podemos decir que exhibieron un crecimiento compensatorio parcial. En cuanto a la composición química proximal de las muestras de filete, los resultados obtenidos muestran que hubo un incremento en el contenido de humedad pero el contenido de lípidos no se vio afectado de manera significativa por lo tanto, difieren con lo observado por Da Silva *et al.* [10] quienes probaron diferentes frecuencias de alimentación a lo largo del día y obtuvieron un incremento en el contenido de humedad acompañado de una disminución en contenido de lípidos, así como un aumento en el contenido de cenizas. En este sentido, es claro que la privación de alimento tiene influencia en el contenido de humedad y carbohidratos, por lo tanto, podría influir en contenido de proteínas, lípidos, y cenizas, aunque probablemente se requiera de periodos más largos de restricción alimenticia para observar un efecto concluyente como los observados por Alí *et al.* [12] quienes probaron diferentes frecuencias de alimentación y privación de alimento con un período de 12 semanas y observaron una disminución lineal en el contenido de proteínas y lípidos y un aumento en contenido de cenizas y humedad. Por otra parte, Vilhelmsson *et al.* [13] observaron que, los peces que fueron alimentados bajo restricción proteica tienden a almacenar más carbohidratos, por lo que, a mayor restricción mayor es la cantidad de glucógeno almacenado en el pez. Lo anterior podría explicar las diferencias en cuanto a contenido de carbohidratos para el grupo 1x1 siendo este el que presentó un mayor contenido en comparación con el resto de los grupos analizados y que, posiblemente a mayor restricción mayor será la cantidad de glucógeno almacenado.

Trabajo a futuro

En la actualidad se está trabajando además de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con la identificación, caracterización, reproducción y cultivo de especies nativas de la Cuenca del Papaloapan, lo que implica la búsqueda de estrategias que reduzcan los costos de alimentación en la acuicultura, así como la exploración de nuevos ingredientes proteicos no convencionales para la sustitución del uso de la harina de pescado como ingrediente principal de las dietas acuícolas.

Conclusiones

La tilapia del Nilo exhibió el fenómeno de crecimiento compensatorio durante la etapa de realimentación. Los regímenes alimenticios evaluados en el presente estudio no comprometieron el crecimiento y composición de los juveniles de tilapia del Nilo, ni afectaron la calidad del músculo. Los resultados demuestran que un cambio en el régimen de alimentación puede resultar en un ahorro en costos de alimentos a largo plazo, sin afectar significativamente los parámetros productivos ni el valor nutricional de la tilapia del Nilo. Es necesario trasladar esta metodología bajo condiciones reales de cultivo en masa.

Agradecimientos

Este proyecto recibió apoyo por parte del Programa para el Desarrollo Profesional Docente mediante el proyecto UNPA-CA-42-1 a través del programa "Fortalecimiento de Cuerpos Académicos en Formación". Los autores agradecen a la Universidad del Papaloapan y al personal del Laboratorio de Acuicultura de la Universidad del Papaloapan por el apoyo técnico.

Referencias

- [1] Li, M., & Lovell, R. T. (1992). Comparison of satiate feeding and restricted feeding of channel catfish with various concentrations of dietary protein in production ponds. *Aquaculture*, 103(2), 165-175.
- [2] Adebayo, O. T., Balogun, A. M., & Fagbenro, O. A. (2000). Effects of feeding rates on growth, body composition and economic performance of juvenile clariid catfish hybrid (female *Clarias gariepinus* x male *Heterobranchus bidorsalis*). *Journal of Aquaculture in the Tropics*, 15(2), 109-117.
- [3] Bavčević, L., Klanjšček, T., Karamarko, V., Aničić, I., & Legović, T. (2010). Compensatory growth in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) compensates weight, but not length. *Aquaculture*, 301(1-4), 57-63.
- [4] Dobson, S. H., & Holmes, R. M. (1984). Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Journal of Fish Biology*, 25(6), 649-656.
- [5] Zhu, X., Xie, S., Lei, W., Cui, Y., Yang, Y., & Wootton, R. J. (2005). Compensatory growth in the Chinese longsnout catfish, *Leiocassis longirostris* following feed deprivation: Temporal patterns in growth, nutrient deposition, feed intake and body composition. *Aquaculture*, 248(1-4), 307-314.
- [6] Wang, Y., Cui, Y., Yang, Y., & Cai, F. (2000). Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*, reared in seawater. *Aquaculture*, 189(1-2), 101-108.
- [7] Blanquet, I., & Oliva-Teles, A. (2010). Effect of feed restriction on the growth performance of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) juveniles under commercial rearing conditions. *Aquaculture Research*, 41(8), 1255-1260.
- [8] Gao, Y., Wang, Z., Hur, J. W., & Lee, J. Y. (2015). Body composition and compensatory growth in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* under different feeding intervals. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 33(4), 945-956.
- [9] Villarroel, M., Alavriño, J. M. R., & López-Luna, J. (2011). Effect of feeding frequency and one day fasting on tilapia (*Oreochromis niloticus*) and water quality. *The Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgah*, IIC:63.2011.609, 1-6.
- [10] Da Silva, M. A., de Alvarenga, É. R., Costa, F. F. B. D., Turra, E. M., Alves, G. F. D. O., Manduca, L. G., ... & Teixeira, E. D. A. (2020). Feeding management strategies to optimize the use of suspended feed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivated in bioflocs. *Aquaculture Research*, 51(2), 605-615.
- [11] Alí, T. E. S., Martínez-Llorens, S., Moñino, A. V., Cerda, M. J., & Tomás-Vidal, A. (2016). Effects of weekly feeding frequency and previous ration restriction on the compensatory growth and body composition of Nile tilapia fingerlings. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 42(3), 357-363.
- [12] Vilhelmsson, O. T., Martin, S. A., Médale, F., Kaushik, S. J., & Houlihan, D. F. (2004). Dietary plant-protein substitution affects hepatic metabolism in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *British Journal of Nutrition*, 92(1), 71-80.

Influencia de las condiciones climáticas y agronómicas en la calidad de los frutos de vainilla (*V. planifolia*)

A. Soto-Enrique¹, A. Pérez-Silva^{1*}, E. Paz-Gamboa¹, P. C. Parada-Molina², C. R. Cerdán-Cabrera²

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Departamento. Ing. Química y Bioquímica. Av. Dr. Víctor Bravo Ahuja s/n, 4 col. 5 de mayo, Tuxtepec, Oaxaca, México.

²Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, 91090, Xalapa, Veracruz, México.

*araceli.ps@tuxtepec.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En una plantación de vainilla fue realizado un estudio climatológico con datos de CONAGUA, así como un análisis de suelo de la plantación. Los frutos de vainilla provenientes de plantas fertilizadas y no fertilizadas fueron evaluados después de 8 meses de maduración, se determinaron sus características físicas, la cuantificación de glucovanillina y vainillina se llevó a cabo por HPLC-DAD y la determinación de la actividad enzimática se realizó por espectrofotometría. Los resultados climatológicos indicaron que la temperatura osciló entre 20.17 y 31.69 °C, con una precipitación anual de 3698 mm. La aplicación del fertilizante comercial mejoró el contenido de materia orgánica y la presencia de macro y micro nutrientes del suelo. Los frutos maduros no presentaron diferencia significativa entre las variables físicas. Por el contrario, se observaron diferencias significativas en el contenido de humedad, la actividad β -glucosídica y en el potencial en vainillina, indicando que los frutos obtenidos de suelos fertilizados presentaron una calidad aromática superior.

Palabras clave: vainilla, climatología, potencial aromático, fertilización.

Abstract

In a vanilla plantation, a climatological study was carried out with data from CONAGUA, as well as a soil analysis of the plantation. The vanilla fruits from fertilized and unfertilized plants were evaluated after 8 months of maturation, their physical characteristics were determined, the quantification of glucovanillin and vanillin was carried out by HPLC-DAD and the determination of the enzymatic activity was carried out by spectrophotometry. The climatological results indicated that the temperature ranged between 20.17 and 31.69 °C, with an annual rainfall of 3698 mm. The application of commercial fertilizer improved the organic matter content and the presence of macro and micro nutrients in the soil. Ripe fruits did not present a significant difference between the physical variables. On the contrary, significant differences were observed in moisture content, β -glucosidic activity and in vanillin potential, indicating that the fruits obtained from fertilized soils presented a higher aromatic quality.

Keywords: vanilla, climatology, aromatic potential, fertilization.

Introducción

La planta de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews) pertenece al género *Vanilla* y forma parte de la familia *Orchidaceae*; existen alrededor de 110 especies distribuidas en las zonas tropicales de México y el mundo [1]. Es hemiepífita, perenne, utiliza los árboles del bosque (selva alta perennifolia) en su hábitat natural como apoyo, sombra y humus natural. En México *V. planifolia* se cultiva con fines comerciales, debido a que es la más demandada en la industria; su cultivo comercial se originó los estados de Veracruz y Puebla [2]. La vainilla se cultiva en los estados de Veracruz, Oaxaca, Puebla, Hidalgo, San Luis Potosí, Chiapas, Tabasco, Quintana Roo y Yucatán [3, 4]. *V. planifolia* se desarrolla en climas tropicales cálidos y húmedos a una altitud de 0 a 1100 msnm, humedad relativa mayor al 80 %, requiere una precipitación promedio anual de 2000 a 3000 mm, temperatura media entre 22 a 32 °C y temperaturas mínimas superiores a 10 °C, con un porcentaje de sombra de 50-70 % [4]. En México la vainilla se cultiva en 3 diferentes sistemas, el más utilizado es el sistema tradicional (acahual) que es un sistema agroforestal con diversidad de árboles nativos e introducidos; el sistema semi tecnificado (a cielo abierto o monocultivo), consistente en usar una sola especie arbórea y tener a la vainilla intercalada en él; y el sistema tecnificado (malla sombra), en el cual se utiliza una malla plástica de color negro (50 % a 80 % de sombra) que regula la luminosidad para simular las condiciones que requiere la vainilla de manera natural. Estos diversos sistemas de manejo de vainilla permiten regular y modular las condiciones térmicas, hídricas y la incidencia de la radiación, que influyen en la fotosíntesis y, por ende, en el desarrollo de este cultivo [5, 4]. El

aroma de las vainas de vainilla proviene principalmente de compuestos que se forman durante los últimos meses de crecimiento del fruto y se acumulan como glucósidos. Actualmente se han identificado más de 30 agliconas a partir del hidrólisis de estos precursores. En los frutos de *V. planifolia*, la glucovainillina es el principal precursor aromático, el 90% de la vainillina se almacena en forma glicosilada. El aroma se va desarrollando durante la hidrólisis enzimática al inicio del beneficiado de las vainas. El beneficiado generalmente comienza con un tratamiento térmico, lo que provoca una desestructuración celular que favorece el contacto entre las β -glucosídicas intracelulares y los precursores glicosilados, lo que permite hidrolizar los enlaces β -1,4 de la glucovainillina y de esta forma liberar la vainillina [6]. Se han realizado estudios sobre el manejo agronómico de la vainilla, para evaluar la producción en frutos verdes y el desarrollo o crecimiento de la planta, mediante la aplicación de riego controlado y fertilizantes orgánicos. Sin embargo, la mayoría se han hecho a partir de variables físicas ya sea de la planta o del suelo, por lo que existe muy poca información sobre trabajos que relacionen datos agroecológicos y calidad aromática de los frutos de vainilla. Los trabajos existentes han permitido evaluar el efecto de la fertilización convencional y orgánica sobre las características físicas y químicas en las plantas de *Vanilla planifolia* durante la etapa inicial evaluando el número de hojas, número de entrenudos, grosor de planta y contenido de clorofila [7]. Además, se ha evaluado la productividad de la vainilla bajo condiciones controladas en los Emiratos Árabes Unidos donde las condiciones agroecológicas no son favorables para el cultivo. Sin embargo, el estudio se realizó como una prueba piloto en un sistema de invernadero automatizado con sistemas de enfriamiento y sistemas de riego [8]. Por otro lado, se han instalado estaciones climatológicas cercanas a la zona de cultivo para un mejor monitoreo meteorológico. Sin embargo, para un análisis más específico se requiere de la instalación de sensores automatizados en plantaciones establecidas para poder medir las características micro climáticas, como lo son: incidencia solar, humedad relativa, temperaturas y precipitación. Con base en las investigaciones existentes, muy pocas relacionan la calidad aromática relacionada con los factores ambientales como la climatología y la fertilidad de suelo es por ello que el objetivo de este trabajo es evaluar la influencia de las condiciones agronómicas y climáticas en la calidad de los frutos de vainilla (*V. planifolia*).

Metodología.

Ubicación de la plantación.

El estudio fue realizado durante la producción de vainilla del año 2019. La plantación de vainilla con una superficie de 1/2 hectárea. La cual estaba ubicada en la comunidad "La Florida", Santa María Jacatepec, Oaxaca a una altitud de 137 msnm con un sistema de producción agroforestal (acahual, con relieve irregular y con una pendiente de 35°).

Climatología

La información estadística climatológica fue obtenida de la página Web de la Comisión Nacional del Agua mediante el Servicio Meteorológico Nacional en donde se seleccionó la estación climatológica más cercana situada en Santa María Jacatepec, Oax, ubicada a una distancia de 1 Km de la plantación. Los datos obtenidos provienen de un monitoreo de los promedios diarios anuales de temperatura (mínima, media y máxima) y precipitación anual acumulada (mm) durante el periodo 2010-2019.

Fertilización

Se seleccionaron 6 plantas con frutos, 3 plantas sin tratamiento (LFS) y 3 plantas tratadas (LFC) con un fertilizante, a las cuales se les aplicó el fertilizante órgano-mineral líquido de la marca NUTRIQUICKER FOLIGROW® FORTE 20-10-20 que contenía nitrógeno, fósforo, potasio, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. El volumen de aplicación por planta fue de 10 L con una dosis de 250 mL del producto. Se realizaron aplicaciones cada 30 días a partir del tercer mes de desarrollo de los frutos hasta el séptimo mes, la aplicación se realizó vía fertirriego al sistema radicular de la planta (figura 1). Los frutos fueron cosechados al octavo mes después de la polinización de las flores.



Figura 1. Preparación y aplicación del fertilizante en plantas de vainilla (*V. planifolia*)

Análisis de suelo

Para el análisis de fertilidad de suelo se realizó un muestreo acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 [9] a través de la empresa FertiLab® (Laboratorio de fertilidad de suelos ubicado en Guanajuato). En la tabla 1 se describen las técnicas empleadas para el análisis de la fertilidad de suelo. Las variables físicas determinadas fueron: clase textural, pH, punto de saturación. (%), capacidad de campo. (%) y densidad aparente (g cm³) y variables de fertilidad fueron: materia orgánica (MO), macro elementos N, P, K, Mg (ppm) y micro elementos Fe, Zn, Cu, B (ppm).

Tabla 1. Técnicas utilizadas para el análisis de suelo.

Análisis	Métodos
Textura del suelo	Método Bouyoucos
Punto de Saturación	Método gravimétrico
Capacidad de Campo	Método gravimétrico
Densidad aparente	Método de la probeta modificado
pH	Método relación 1:2 (suelo:agua)
Materia Orgánica	Método Walkley and Black
Fósforo	Método Bray y Kurtz
Nitrógeno inorgánico	Micro-Kjeldahl
Potasio, Magnesio	Acetato de Amonio 1N, pH 7
Micronutrientes (Fe, Zn, Cu, B)	Método DTPA-Sorbitol pH 7

Caracterización física de los frutos verdes

Los frutos colectados fueron clasificados en dos lotes, frutos obtenidos sin fertilizante (LFS) y frutos provenientes de plantas con fertilizante (LFC). Posteriormente se clasificaron y obtuvieron los promedios de la medición de acuerdo a sus características de longitud (cm), peso (g) y grosor (cm). La longitud se obtuvo mediante un flexómetro para identificar los frutos más largos, el peso utilizando una balanza eléctrica y el grosor con un Vernier electrónico.

Determinación de la humedad en vainas verdes

Para la determinación del contenido de humedad cada muestra se analizó por triplicado mediante el método gravimétrico, según [10]. Se pesaron aproximadamente 5 g de muestra en una balanza analítica marca Discovery modelo BL 210S, posteriormente las muestras se colocaron en una estufa de secado a 105 °C durante 24 h.

Determinación de la actividad enzimática de la β -glucosídica.

La determinación se llevó a cabo de acuerdo a lo establecido por [11], 10 g de muestra fueron molidos con 50 mL Buffer fosfato de sodio a pH 7, posteriormente fue filtrada con papel Whatman No. 4, se adicionó el sustrato *p*-nitrofenil- β -glucopiranosido (*p*NPG) en la solución de fosfato de sodio con la solución enzimática por un tiempo de 20 minutos a una temperatura de 40 °C, finalmente la hidrólisis se detuvo por adición de solución de NaOH a 0.1 N para posteriormente realizar un análisis de espectrofotometría utilizando un espectrofotómetro de la marca Agilent Cary 60 UV-Vis a una longitud de onda de 400 nm.

Determinación de glucovainillina

La determinación de la glucovainillina se realizó mediante una extracción en baño ultrasónico y fue analizado por HPLC-DAD. Se pesó el polvo de vainilla verde, posteriormente los compuestos volátiles fueron extraídos en una mezcla de solventes metanol-agua acidificada, la mezcla fue sometida a efectos ultrasónicos en el equipo Elmasonic P, modelo D78224 a temperatura ambiente durante 10 minutos, los extractos fueron pasados a través de un filtro de 120 mm y 0.45 μ m de diámetro [11]. Cada extracción fue realizada por duplicado, y posteriormente fueron analizadas en un (HPLC-DAD). La cuantificación se realizó mediante una curva de calibración con un estándar de glucovainillina.

Resultados y Discusión

Climatología

Con el objetivo de evaluar los cambios climáticos durante una década se evaluaron los datos de la estación climatológica a partir del año 2010. El resultado del análisis indica que durante el periodo 2010-2019, la temperatura media anual registrada fue de 25.93 °C (Figura 2), lo que refleja que la temperatura media es apropiada para el cultivo de vainilla. La temperatura anual máxima promedio fue de 31.69 °C, siendo el año 2019 el más caliente con una temperatura máxima de 33.03 °C.

Por otro lado, la temperatura mínima promedio registrada fue de 20.17 °C, siendo el año más frío 2016 con 19.78 °C. Estos valores son aptos para el cultivo, debido a que la vainilla puede soportar temperaturas de hasta 10 °C de acuerdo [4], pero no en periodos prolongados. Sin embargo, temperaturas extremadamente bajas pueden provocar efectos fisiológicos en la planta como, quemaduras en el tallo de las hojas, así como defoliaciones o amarillamiento en la planta.

El análisis climatológico mostró una precipitación promedio anual acumulada de 3698 mm para el decenio 2010-2019. El valor mínimo registrado fue en 2016 mm con un valor anual acumulado de 2446 mm. Mientras que el valor máximo fue de 4696 mm (2018), por lo que se observa en el gráfico, en los últimos años la zona muestra una tendencia óptima de precipitación para el cultivo, con precipitaciones mayores a los 2400 mm lo que favorece su desarrollo de acuerdo a literatura [12, 13, 4]. Considerando que la precipitación anual promedio requerida en el cultivo se encuentra entre los 2000 a 3000 mm, estos resultados pueden estar relacionados a la ubicación geográfica de la zona, ya que se encuentra en los límites de la selva de la Chinantla, una zona tropical, muy húmeda que se encuentra a 127 msnm, la cual se encuentra rodeada de ríos y arroyos, por lo que hacen de la zona un lugar apropiado para el cultivo por registrar niveles altos de precipitación a lo largo del año.

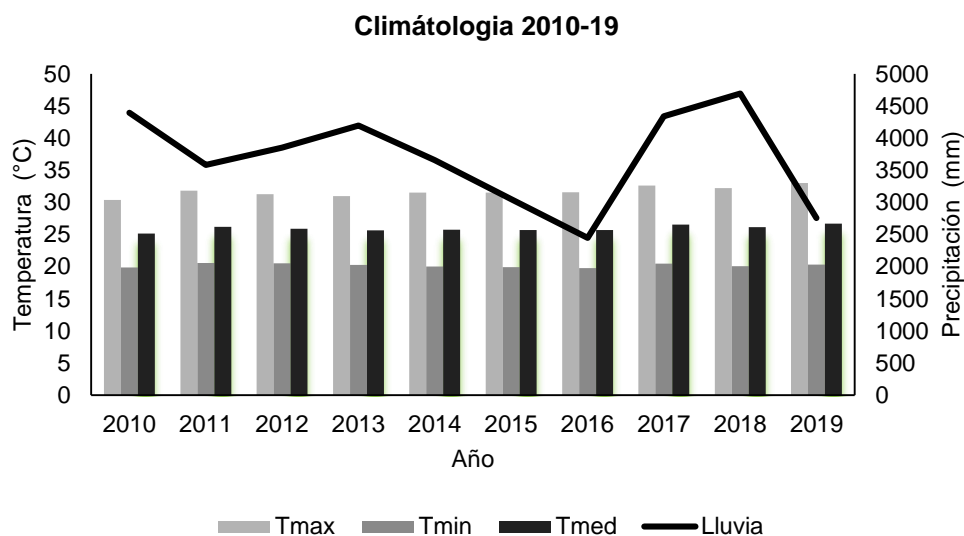


Figura 2. Climograma de la precipitación y temperaturas promedio anuales en la temporada 2010-2019 adaptado de CONAGUA 2019.

Análisis de suelo

Características físicas

El suelo de la plantación se caracterizó con una textura tipo franco a la cual se le atribuye una cualidad más porosa misma que se conforma por gránulos más homogéneos que permiten buena absorción y a su vez buena retención de agua (Tabla 2).

Los resultados de pH de las dos muestras de suelo sin fertilizante (LFS) y con fertilizante (LFC) fueron 5.93 y 6.54, respectivamente. Estos valores comparados con lo establecido por la NOM-021-RECNAT-2000 [9]

demuestran que el pH para LFS se encuentra dentro del rango denominado moderadamente ácido (5.1-5.9) a diferencia de LFC la cual se encuentra en rango neutro lo que es favorable para el cultivo. Por consiguiente, la adición del fertilizante mejoró el pH del suelo.

Tabla 2. Características físicas del suelo con y sin fertilizar.

Muestra de suelo	Textura	pH	PS (%)	CC (%)	DA (g/cm ³)
Sin fertilizante (LFS)	Franco	5.93	93	50.1	0.96
Con fertilizante (LFC)	Franco	6.54	70	37.6	0.91

PS: Punto de saturación, CC: Capacidad de campo, DA: Densidad aparente.

Con respecto al punto de saturación del suelo, fue de 93% para la muestra LFS, siendo más alto respecto al de la muestra LFC con un 70 %. En cuanto a capacidad de campo, los valores para LFS y LFC fueron 50.1 y 37.6 %, respectivamente. Ambos valores altos de estos parámetros representan una buena retención de agua para las dos muestras contribuyendo a la fertilidad del suelo y al buen manejo agronómico. Sin embargo, la diferencia entre los valores de las muestras de suelo puede estar relacionada por la presencia de ácidos húmicos y fúlvicos (LFC). En la muestra LFC la descomposición de la materia orgánica puede acelerarse por la disminución de la saturación del suelo y la capacidad de campo. En cuanto a la densidad aparente para LFS y LFC los resultados fueron 0.96 y 0.91 g/cm³, respectivamente. Ha sido reportado en suelos de cultivo de café que un valor ≥ 1 g/cm³ en la DA es característico de suelos más compactos [14]. Por lo tanto, ambos resultados en este estudio indican que el suelo de la parcela es adecuado para el cultivo de vainilla, debido a que es deseable tener una baja compactabilidad de suelo y que la densidad aparente no exceda 1 g/cm³, ya que entre más baja sea la densidad mejor porosidad tendrá el suelo, favoreciendo más el crecimiento radicular de las plantas. En términos generales, el efecto del fertilizante en el suelo mejoró las características del suelo, gracias a que favoreció el pH disminuyendo la acidez, lo que permitió proteger a las raíces de las plantas de ataques de hongos patógenos.

Fertilidad de suelo

Los resultados de materia orgánica (MO) de acuerdo a las muestras LFS y LFC fueron de 13.5 y 15.5 %, respectivamente (tabla 3). De acuerdo a [9] se considera que contenidos mayores a 6% son denominados suelos con muy alto contenido de MO, en ambos casos el contenido es adecuado. Aunque, la adición del fertilizante mejoró el contenido de materia orgánica.

El contenido de nitrógeno en el suelo LFC fue más alto (489 ppm), mientras que la muestra LFS tuvo un valor medio de 32.1 ppm. El contenido de fósforo fue bajo en la muestra de suelo LFS con un valor de 6.91 ppm, mientras que para la muestra con fertilizante tuvo el contenido fue de 15.4 ppm. El contenido de potasio fue bajo para muestra LFS (100 ppm), siendo superior en la muestra LFC (154 ppm).

Tabla 3. Resultados de la fertilidad de suelo con y sin fertilizante.

Lote	Materia Orgánica (%)	Macro nutrientes (ppm)			Micro nutrientes (ppm)		
		N	P	K	B	Zn	Fe
LFS	13.5	32.1	6.91	100	0.23	3.61	20.2
LFC	15.5	489	15.4	154	0.1	5.49	21.4

Como puede observarse en la tabla 3, el contenido de boro en la muestra LFS fue de 0.23 ppm, mientras que en la muestra LFC fue de 0.1 ppm. El contenido de zinc fue mayor en la muestra LFC (5.49 ppm)

El contenido de hierro en ambas fue similar. De manera general la adición del fertilizante tuvo un efecto benéfico en el aumento de materia orgánica, esto puede estar relacionado por la descomposición de los desechos de madera por la presencia de los ácidos húmicos y fúlvicos. El contenido de los macros y micros nutrientes en los suelos LFC fueron mayores, a excepción del B, debido a la adición del fertilizante, lo que permitió mejorar la fertilidad del suelo otorgando mejor disponibilidad de nutrientes a las plantas.

Determinación de las características de los frutos

La caracterización física de los frutos obtenidos de plantas provenientes de suelos LFS y LFC no mostraron diferencia significativa respecto a su peso, longitud y grosor, como se puede observar en la tabla 4. Sin embargo, los contenidos de humedad en los frutos cosechados a los ocho meses mostraron diferencia significativa ($p < 0.005$). Los frutos de suelos LFC presentaron una menor humedad (80.51 %) respecto a los provenientes de suelos LFS (85.25 %), lo que indica que la aplicación del fertilizante pudo acelerar la madurez del fruto, esto de acuerdo a estudios reportados que indican que el contenido de humedad de los frutos está en función su madurez, el contenido de agua de los frutos disminuye conforme aumenta la madurez de los frutos de vainilla [15].

Tabla 4. Características físicas de los frutos de vainilla con y sin fertilizante.

Lote	Peso (g)	Longitud (cm)	Grosor (cm)	Humedad (%)
LFS	16.60 ± 0.15 ^A	17.90 ± 0.03 ^A	1.56 ± 0.02 ^A	85.25 ± 0.15 ^A
LFC	16.20 ± 0.22 ^A	18.00 ± 0.09 ^A	1.58 ± 0.03 ^A	80.51 ± 0.60 ^B

Los valores son el promedio de 2 repeticiones ± su desviación estándar, letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

Contenido de glucovainillina y potencial aromático

La actividad enzimática de la β -glucosídica en los frutos de suelos LFC presentaron una actividad de 1187.4 nkat g^{-1} mientras que los frutos provenientes de suelos sin tratamiento obtuvieron un valor de 617.5 nkat g^{-1} (tabla 5). Una alta actividad β -glucosídica es requerida para que los precursores aromáticos glucosilados sean hidrolizados al inicio del beneficiado de la vainilla [6].

El indicador más importante en la calidad aromática de los frutos de vainilla es el potencial en vainillina. En la tabla 5 se muestra el contenido de glucovainillina, la concentración de vainillina libre y el del potencial de vainillina (el cual es el resultado de la sumatoria de la concentración de vainillina libre y el contenido de vainillina ligada (contenido de glucovainillina * 0.484).

En ambas muestras se detectó una diferencia significativa en el en el potencial de vainillina en los frutos. En los frutos colectados de las plantas tratadas con fertilizante LFC el potencial en vainillina fue 5.33 g/100 g m. s., mientras que los frutos provenientes de los suelos sin tratamiento el potencial fue aproximadamente 50% menos.

El potencial determinado en los frutos provenientes del suelo fertilizado puede garantizar una excelente calidad aromática en las vainas beneficiadas, aunque se debe considerar que este potencial disminuye durante el beneficiado de la vainilla, debido a las transformaciones que sufre la vainillina durante este proceso [16].

Tabla 5. Resultados de calidad aromática en frutos con sin fertilizante.

Lote	Actividad enzimática (nkat g ⁻¹)	Glucovainillina (g/100 g m.s.)	Vainillina ligada (g/100 g m.s.)	Vainillina libre (g/100 g m.s.)	Potencial en Vainillina (%)
LFS	617.5 ± 60.9 ^B	2.47 ± 0.10 ^B	1.19 ± 0.05 ^B	1.66 ± 0.01 ^A	2.86 ± 0.06 ^B
LFC	1187.4 ± 145.2 ^A	11.02 ± 0.53 ^A	5.33 ± 0.26 ^A	0.10 ± 0.00 ^B	5.43 ± 0.26 ^A

Los valores son el promedio de 2 repeticiones ± su desviación estándar, letras diferentes indican diferencia significativa (p<0.05).

Trabajo a futuro

Se sugiere realizar un análisis de fertilidad de suelo en diferentes temporadas o etapas fenológicas de la planta. Así como un estudio del efecto del fertilizante a nivel fisiológicos de las hojas, tallos y frutos para poder tener un panorama más amplio de la relación sustrato-planta y de esta forma también poder evaluar niveles de producción bajo diferentes manejos agronómicos para poder hacer recomendaciones puntuales que aumenten la producción y calidad aromática de la vainilla, dependiendo del lugar y sistema de producción.

Conclusiones

El análisis climatológico realizado mostró que las variables meteorológicas evaluadas indicaron que la zona de estudio es apropiada para la producción de vainilla.

La implementación de un fertilizante órgano-mineral líquido mejoró las características y la fertilidad del suelo debido al aumento en un 2 % de materia orgánica, así como el contenido de los macro y micro nutrientes del suelo.

La calidad aromática de los frutos provenientes de suelos fertilizados mejoró por el incremento del potencial en vainillina y la actividad β-glucosídica.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto “Evaluación de las características aromáticas de la vainilla producida en México”.

Al CONACYT por el financiamiento del proyecto “Estrategias para la adaptación y mitigación al cambio climático necesarias para el rescate del cultivo de vainilla en México”, dentro del marco del Programa Presupuestal F003 y por la beca otorgada durante los estudios de maestría de Antony Soto Enrique.

A la Empresa Nutriquicker, S.A. de C.V por el aporte del fertilizante evaluado.

Al productor Sr. Eusebio Chavez propietario de la plantación de vainilla.

Al equipo VaniClim del ITTuxtepec por ayuda en los análisis por HPLC-DAD.

Referencias

- [1] M. -A. Soto & D. -L. Dressler, "A revision of the Mexican and Central American species of *Vanilla plumier ex Miller* with a characterization of their ITS region of the nuclear ribosomal DNA", *Lankesteriana International Journal on Orchidology*, vol. 9, 285-354, 2010.
- [2] P. Lubinsky, S. Bory, J. -H. Hernández, S. -Ch. Kim, A. Gómez-Pompa, "Origins and dispersal of cultivated *Vanilla* (*Vanilla planifolia* Jacks [Orchidaceae])", *Economic Botany*, vol. 62, 127-138, 2008.
- [3] A. Flores-Jimenez, D. Reyes, D. Jiménez, O. Romero, J. A. Rivera-Tapia, M. Huerta, A. Pérez-Silva. "Diversidad de *Vanilla* spp. (Orchidaceae) y sus perfiles bioclimáticos en México". *Revista de Biología Tropical*, vol. 65(3), 975–987, 2017.
- [4] P. C. Parada-Molina, A. Pérez-Silva, C. R. Cerdán-Cabrera, A. Soto-Enrique, "Condiciones climáticas y microclimáticas en sistemas de producción de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews) en México", *Agronomía Mesoamericana*, vol. 33(2), 2022.
- [5] J. -B. Azofeifa-Bolaños, A. Paniagua-Vásquez, & J. -A. García-García, (2014). "Importancia y desafíos de la conservación de *Vanilla* spp. (Orquidaceae) en Costa Rica", *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 189–202, 2014.
- [6] A. Pérez-Silva, M. Nicolas-Garcia, T. Petit - J. B. Dijoux, M. Á. Vivar-Vera, P. Besse, M. Grisoni, "Quantification of the aromatic potential of ripe fruit of *Vanilla planifolia* (Orchidaceae) and several of its closely and distantly related species and hybrids", *European Food Research and Technology*, 247, 1489–1499, 2021.
- [7] M. -S. Basurto, R. -C. Rodríguez, R. -E. Santiago, J. -R. Hernández y E. P. -V. García, "Manejo orgánico vs manejo convencional en la etapa inicial del cultivo de vainilla (*Vanilla planifolia* A.)", *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, ISSN: 2007-694, 2021.
- [8] K. Rahman, M. K. -B. Thaleth, G. -M. Kutty, R. Subramanian, "Pilot scale cultivation and production of *Vanilla planifolia* in the United Arab Emirates". *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25 (6), 1143–1150, 2019.
- [9] Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis, Diario Oficial. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- [10] E. Odoux, "Changes in vanillin and glucovanillin concentrations during the various stages of the process traditionally used for curing *Vanilla fragrans* beans in Réunion". *Fruits*, 55, 119–125, 2000.
- [11] A. Pérez-Silva, Z. Gunata, J. -P. Lepoutre, E. Odoux, "New insight on the genesis of odor active compounds in vanilla beans (*Vanilla planifolia* G. Jackson) during traditional curing", *Food Research International*, 44: 2930-2937, 2011.
- [12] I. Baqueiro-Peña, J. Á. Guerrero-Beltrán, (2017). "Vanilla (*Vanilla planifolia* Andr.), its residues and other industrial by-products for recovering high value flavor molecules: A review", *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 6, 1–9, 2017.
- [13] H. Ahmad, R. -A. Khera, M. -A. Hanif, M. -A. Ayub, M. -I. Jilani, "Vanilla. In A. H. Muhammad, N. Haq, M. K. Muhammad, & J. B. Hugh (Eds.)", *Medicinal plants of South Asia*, pp. 657–669, Elsevier, 2020.
- [14] J. -A. Salamanca, K.H. -S. Sadeghian, "La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana", Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

- [15] A. Pérez-Silva, L. A. Hernández-Vásquez, M. A. Vivar-Vera, F. B. Tavares-González, E. Paz-Gamboa, "Evaluación del contenido de glucovainillina durante lamaduración de los frutos de *Vanilla planifolia*", *Journal CIM Vol. 6, Núm. 1*, 2018.
- [16] E. Peña-Mojica, A. Ariza-Castolo, M. A. Vivar-Vera, G. C. Rodríguez-Jimenes, A. Pérez-Silva, "Estudio del efecto enzimático, térmico y fotoquímico en la transformación de la vainillina", *Journal CIM Vol. 7, Núm. 1*, 2019.

Análisis comparativo de la producción de energía en ciclos Brayton, Rankine y Combinado

K. E. Calcano Meneses ¹, E. M. Valdovinos García ¹, M. A. Petriz Prieto ^{1*}.

¹División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, km. 1.0 S/N. Ranchería Ribera Alta, Jalpa de Méndez, Tabasco CP.86205, MÉXICO.

[*iqmapp@gmail.com](mailto:iqmapp@gmail.com)

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En este trabajo se analizan los rendimientos energéticos obtenidos en tres ciclos distintos empleados para la producción energía eléctrica considerando nuevos límites de temperatura (1500°C) de entrada a turbina (TIT) en turbinas de última generación. Mediante el empleo de software de simulación se comparó el rendimiento de múltiples casos de estudios de un ciclo Brayton, un ciclo Rankine y un Ciclo Combinado a diversos niveles de presión y TIT (900°C, 1200°C y 1500°C). Los resultados indican rendimientos máximos de 40% para ciclo Brayton a 50 bar, 38% para el ciclo Rankine a 120 bar y 55% para el ciclo combinado a 35 bar, todos a la temperatura límite de 1500°C. Estos resultados constituyen una base para las condiciones de operación de procesos similares que empleen turbinas con nuevos límites de temperatura.

Palabras clave: Ciclo Combinado, Brayton, Rankine.

Abstract

In this work, the energy yields obtained in three different cycles used for the production of electrical energy are analyzed, considering new temperature limits (1500°C) at the turbine inlet (TIT) in state-of-the-art turbines. Through the use of simulation software, the performance of multiple case studies of a Brayton cycle, a Rankine cycle and a Combined Cycle were compared at various levels of pressure and TIT (900°C, 1200°C and 1500°C). The results indicate maximum yields of 40% for the Brayton cycle at 50 bar, 38% for the Rankine cycle at 120 bar and 55% for the combined cycle at 35 bar, all at the limit temperature of 1500°C. These results constitute a basis for the operating conditions of similar processes that use turbines with new temperature limits.

Key words: Combined Cycle, Brayton, Rankine.

Introducción

La generación de electricidad en México en su mayoría depende del gas y el petróleo, aproximadamente tres cuartos de la energía generada provienen de estos combustibles. En la actualidad esta generación de energía eléctrica va en aumento gracias a las políticas energéticas en el gobierno actual [1].

La energía eléctrica es un bien importante para el desarrollo económico de un país, ya que influye directamente en los servicios básicos prestados a la población. Debido a esto es necesario contar con el suministro de electricidad, que año con año va en aumento de acuerdo al “pronóstico de la demanda y consumo de energía eléctrica 2020-2034” [2].

En la Tabla 1 podemos ver los tipos de tecnologías que ocupa México para la generación de energía [3]. Comparando todas las tecnologías podemos ver que el ciclo combinado es la que tiene mayor participación y energía generada.

Tabla 1. Producción de energía por tipo de tecnología en México.

Tecnología	ENERO-MARZO 2017	ENERO-MARZO 2021	
------------	------------------	------------------	--

	Energía generada (TWh)	Participación (%)	Energía generada (TWh)	Participación (%)	Var. Absoluta (TWh)	Tasa de Crecimiento (%)
Ciclo Combinado	36.8	53.5	40.3	55.8	3.6	9.8
Carboeléctrica	7.2	10.5	2.6	3.5	-4.6	-64.4
Combustión interna	0.6	0.8	0.4	0.6	-0.1	-21.4
Térmica convencional	8.9	13.0	6.2	8.5	-2.8	-31.1
Turbo gas	3.0	4.4	3.7	5.1	0.7	23.3
Nucleoeléctrica	3.0	4.3	2.1	2.9	-0.8	-28.2
Biomasa	0.001	0.0	0.044	0.1	0.043	3127.3
Eólica	3.2	4.6	5.8	8.0	2.6	82.7
Fotovoltaica	0.1	0.1	4.0	5.6	4.0	6457.5
Geotérmica	1.5	2.1	1.1	1.5	-0.04	-28.1
Hidroeléctrica	4.6	6.7	6.0	8.3	1.4	30.1
TOTAL	68.8	100.0	72.3	100.0	3.6	5.2

La tecnología de ciclo combinado esta acoplada generalmente a dos ciclos termodinámicos, el ciclo Rankine y el ciclo Brayton (Ver Figura 1) [4].

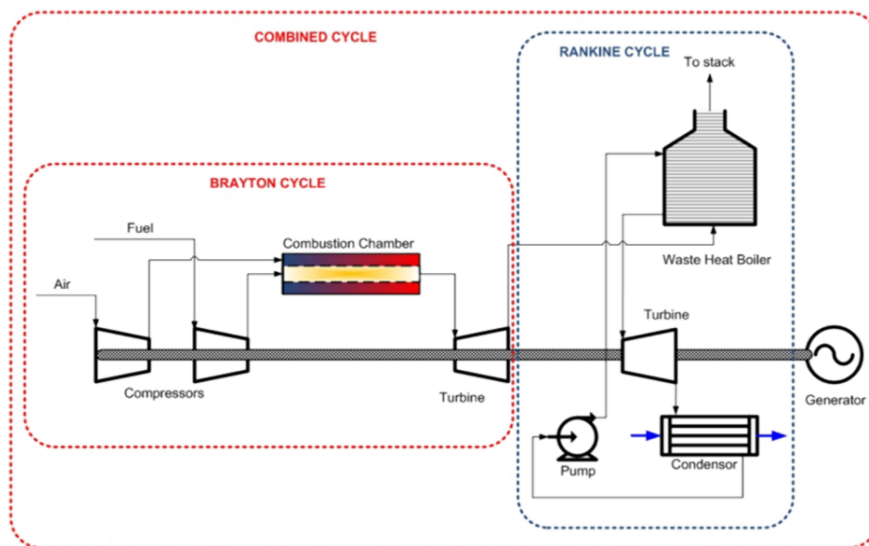


Figura 1. Diagrama de un ciclo combinado sencillo.

Metodología

Casos de estudio.

Para la obtención de los resultados se delimita la investigación a tres casos de estudio en específico (todos los casos de estudio se analizarán con los mismos parámetros de temperatura de 900, 1200 y 1500 °C en el sistema de reacción):

- Ciclo Brayton, se incrementará la presión de combustión desde 5 bar hasta 50 bar en intervalos de 5 bar (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50).
- Para el ciclo Rankine se hará una combustión a 1 bar de presión e intervalos de tres distintas presiones por temperatura en la bomba de agua que son, 60, 90 y 120 bar.
- Ciclo Combinado, se incrementará la presión de combustión desde 5 bar hasta 50 bar en intervalos de 5 bar (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50) con intervalos de tres distintas presiones en la bomba de agua (60, 90 y 120 bar) por cada temperatura y presión del sistema.

Composición del aire y combustible.

Para la simulación es necesario conocer el poder calorífico del combustible para poder calcular el rendimiento del proceso, además de la composición del aire y del gas natural. En la Tabla 2 se puede observar el cálculo del poder calorífico (LHV) [5].

Tabla 2. Composición del gas natural y cálculo de su poder calorífico.

COMPUESTO	COMPOSICION	FLUJO MOLAR KMOL/H	ENTALPIA DE COMBUSTIÓN (KJ/MOL)	LOW HEATING VALUE (MW)
Metano	0.89	2231.188813	-802.6	497.43115
Etano	0.07	175.4867606	-1428.6	69.6389962
Propano	0.01	25.06953723	-2043.1	14.2276588
Butano	0.0011	2.757649095	-2657.3	2.03552804
Dióxido de Carbono	0.02	50.13907445	0	0
Nitrógeno	0.0089	22.31188813	0	0
TOTAL	1	2506.953723	-6931.6	583.333333

Se seleccionó el valor de 583 MW considerando un rendimiento de 60% para obtener una producción de 350MW que es aproximadamente el rendimiento de una unidad de ciclo combinado en una planta termoeléctrica en México. Por otro lado, en la Tabla 3 se encuentra la composición del aire que se ocupó [5].

Tabla 3. Composición del aire en fracción molar.

Componente	Fracción molar
CO ₂	0.0003
N ₂	0.7738
O ₂	0.2076
H ₂ O	0.0091
AR	0.0092

Selección del método y variables de operación.

Es necesario seleccionar un modelo de resolución de ecuaciones para el software que se utilizara, ASPEN PLUS V10. Para emplear el método más adecuado se utilizó la sección de Methods Assistant y se seleccionó el que mejor se adecua al presente trabajo, en este caso es el método Redlich-Kwong-Soave con Boston- Mathias (RKS-BM), que se recomienda para aplicaciones de procesamiento de gas, refinería y petroquímica. Las variables de operación que se utilizaron en los equipos se muestran a continuación (Ver Tabla 4) [6]:

Tabla 4. Modelos y parámetros de Aspen Plus V10.

Equipo	Modelo de Aspen Plus	Parámetros
Bomba	PUMP	Eficiencia Isentrópica: 0.70 Mecánica: 0.98
Compresor	COMPR	Eficiencia Isentrópica: 0.70 Mecánica: 0.98
Turbinas	COMPR	Eficiencia Isentrópica: 0.70 Mecánica: 0.98
Condensador	HEATER	Mínimo aproximado 15° C
Intercambiadores de Calor	HEATX	Mínimo aproximado 15° C
Mezcladores de Corrientes	MIXER/FSPLIT	
Reactor	RGIBBS	Equilibrio Químico

Construcción de los diagramas para simulación de los ciclos.

Para la construcción de los diagramas nos guiamos a partir de la idea básica de un ciclo combinado simple (Ver Figura 1) y extendimos el proceso agregando equipos en el software de simulación ASPEN PLUS V10. [4]. Los diagramas de flujo elaborados en ASPEN PLUS del ciclo Brayton, ciclo Rankine, y Ciclo Combinado se muestran en la Figura 2, Figura 3 y Figura 4 respectivamente.

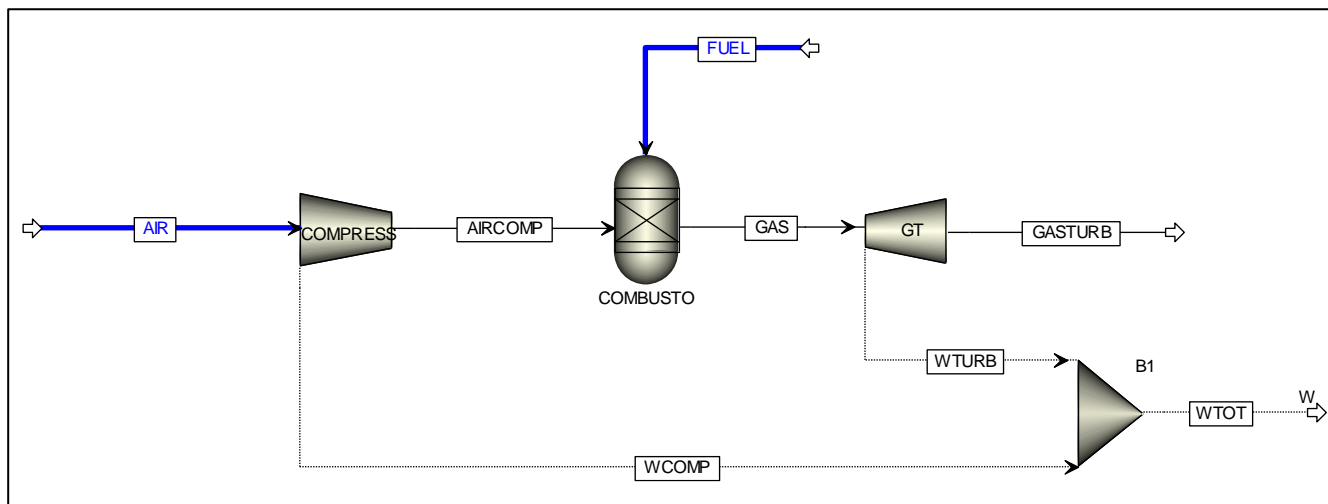


Figura 2. Diagrama del ciclo Brayton.

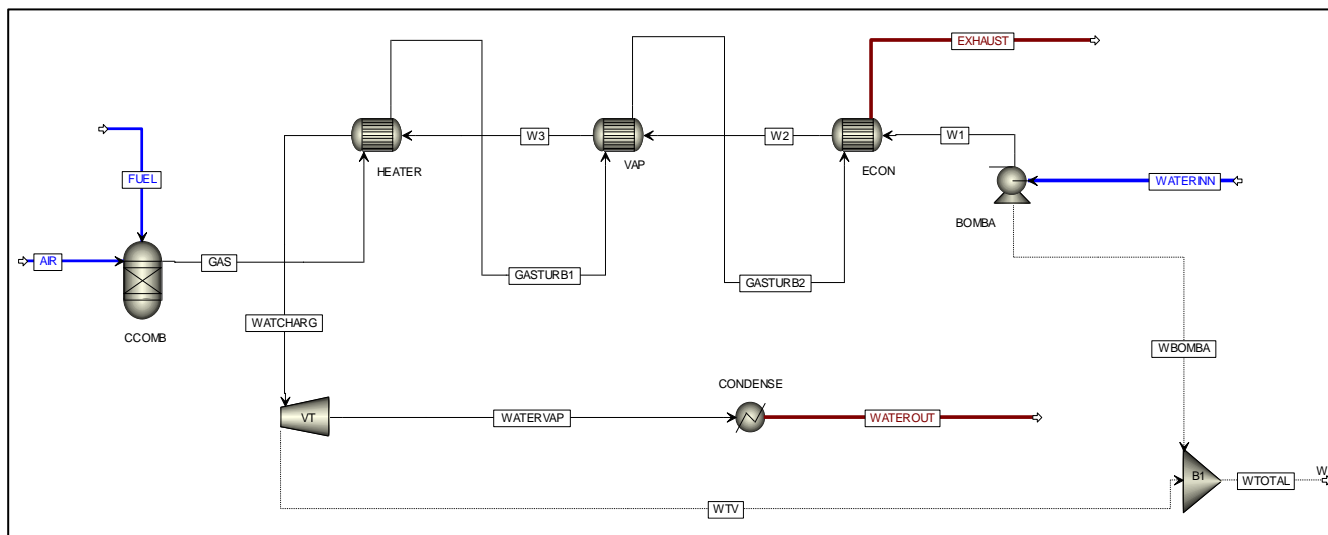


Figura 3. Diagrama del ciclo Rankine.

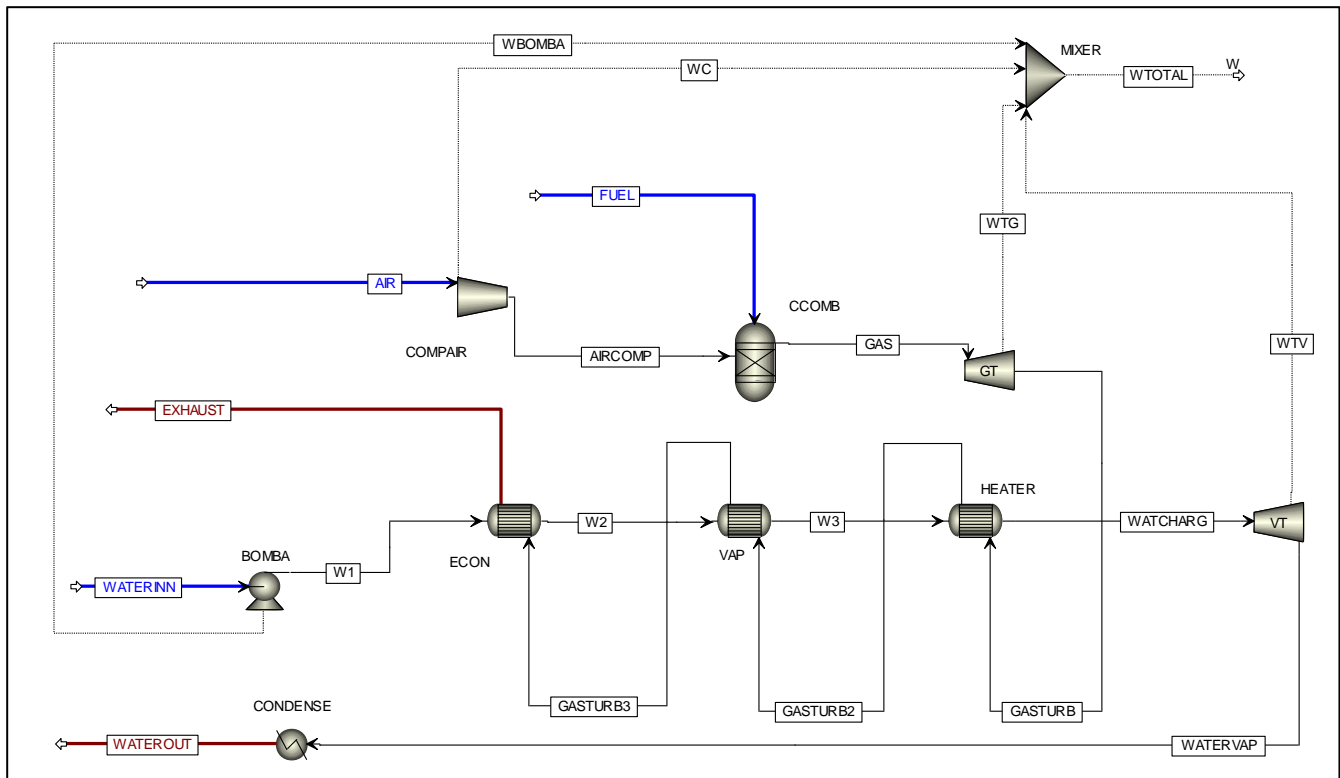


Figura 4. Diagrama del ciclo combinado.

Aplicación de la restricción de temperatura.

Los ciclos a comparar tienen un proceso en común dentro de la cámara de combustión que consta de la generación del gas a partir de la combustión. Dicho gas se produce a partir de la mezcla de un combustible con el aire, dando como resultado una corriente de un gas a alta temperatura. En la actualidad las turbinas de gas están preparadas para soportar temperaturas de hasta 1550° C [7]. Por ello, es necesario establecer un límite de temperatura en la corriente GAS modificando el flujo de aire. Para lograr eso ocupamos una herramienta dentro del simulador que encontramos en la parte de Flowsheeting Options llamada Design Spec.

Como primer paso definimos el nombre de nuestra variable que queremos modificar en la ventana Define (Ver Figura 5). En la parte de Spec, damos la especificación de lo que queremos cambiar en la variable creada anteriormente (Ver Figura 6). Por último, en la ventana Vary, seleccionamos la variable que vamos a modificar para obtener la temperatura deseada en el corriente gas, que como habíamos dicho es el flujo másico de la corriente de aire (Ver Figura 7).

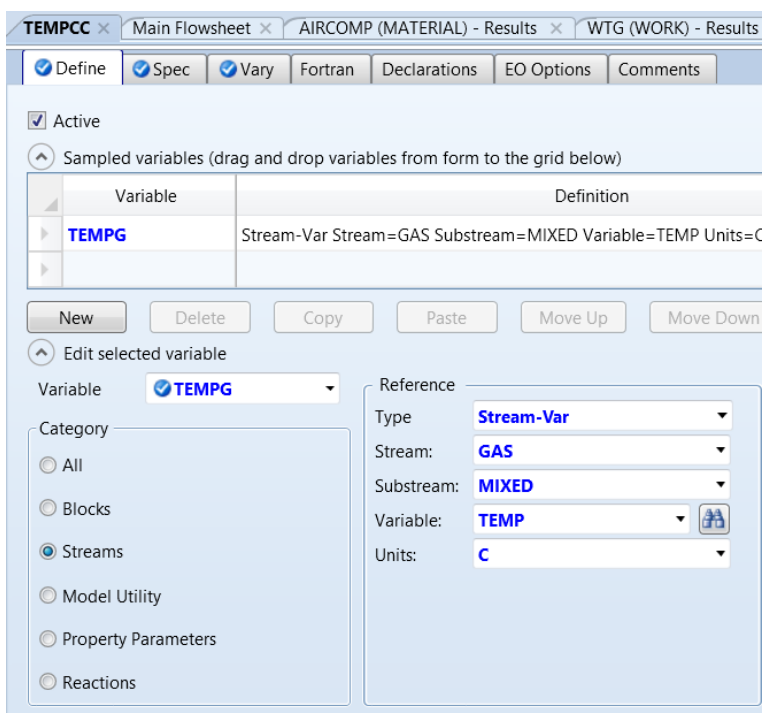


Figura 5. Menú de Flowsheeting Options en Aspen Plus V10.

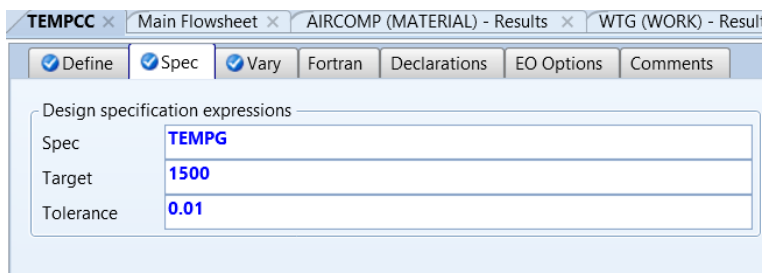


Figura 6. Ventana Spec en Aspen Plus V10

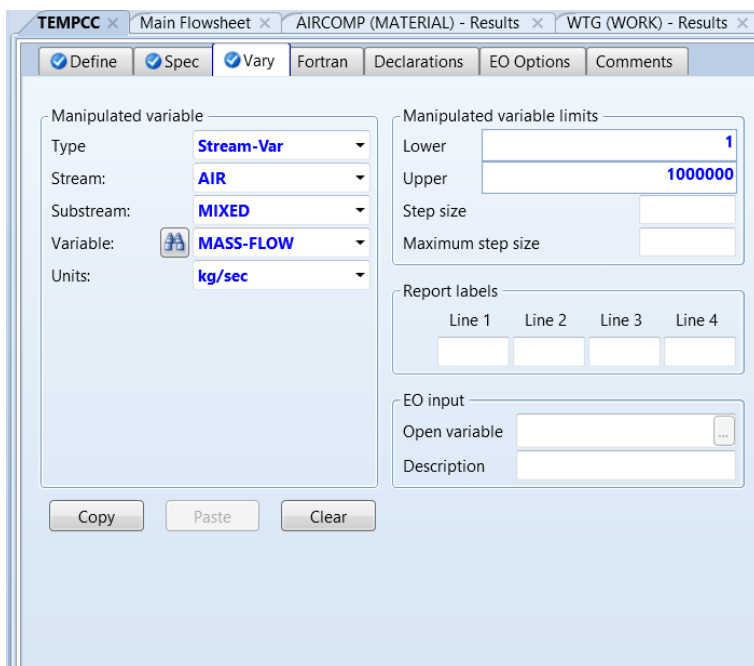


Figura 7. Ventana Vary en Aspen Plus V10.

Resultados y discusión

Para el ciclo Brayton se realizaron 30 simulaciones, se obtuvieron datos de interés para la comparación con los demás ciclos como el trabajo total generado y la eficiencia (Ver tabla 5). Podemos observar que a 50 bar y 900° C tenemos una eficiencia negativa debido a que no se cumplen las condiciones para un intercambio de calor favorable por lo cual entra agua en la turbina y no funciona.

Tabla 5. Resultados del ciclo Brayton.

PRESION Bar	TEMPERATURA °C	W TOTAL MW	EFICIENCIA	PRESION Bar	TEMPERATURA °C	W TOTAL MW	EFICIENCIA
5	900	106.350	0.182	25	900	127.887	0.219
	1200	118.069	0.202		1200	194.977	0.334
	1500	122.121	0.209		1500	216.448	0.371
10	900	139.709	0.240	30	900	110.031	0.189
	1200	163.090	0.280		1200	196.176	0.336
	1500	171.281	0.294		1500	222.331	0.381
15	900	145.489	0.249	35	900	86.835	0.149
	1200	181.712	0.312		1200	195.318	0.335
	1500	194.235	0.333		1500	226.347	0.388
20	900	140.153	0.240	40	900	57.940	0.099
	1200	190.788	0.327		1200	192.917	0.331
	1500	207.727	0.356		1500	229.046	0.393
25	900	127.887	0.219	45	900	22.473	0.039
	1200	194.977	0.334		1200	189.280	0.324
	1500	216.448	0.371		1500	230.766	0.396
30	900	110.031	0.189	50	900	-20.970	-0.036
	1200	196.176	0.336		1200	184.595	0.316
	1500	222.331	0.381		1500	231.727	0.397

El caso de estudio del ciclo Brayton con presión de 50 bar y temperatura de 1500 °C como temperatura máxima en la corriente GAS, se muestra en la Figura 8. Esta simulación nos da un 39.7% de eficiencia debido a que es un ciclo Brayton simple, en comparación con ciclos más complejos donde la eficiencia es similar, como se muestra en el artículo del autor X con una eficiencia del 40% en un ciclo Cheng [8].

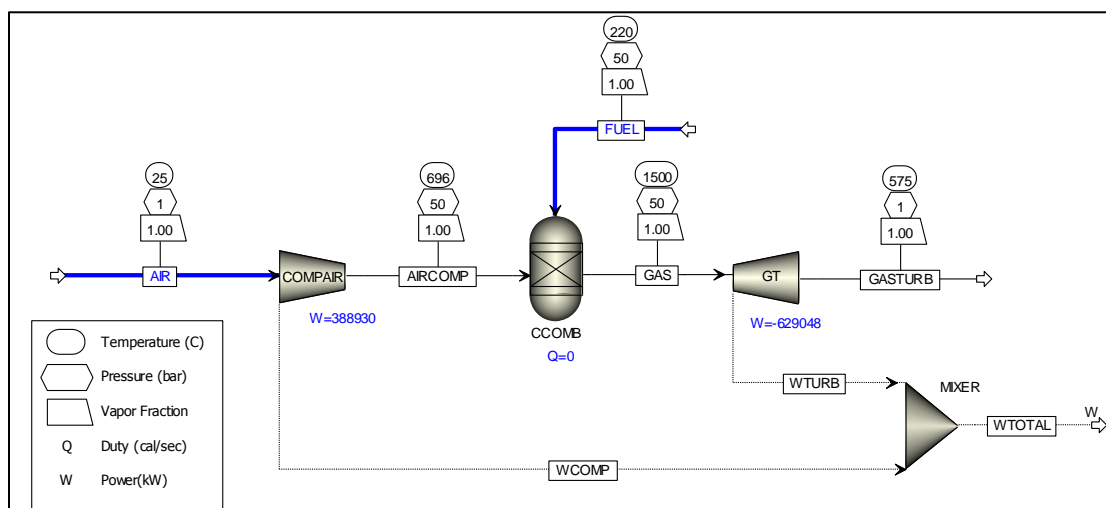


Figura 8. Simulación del ciclo Brayton con presión de 50 bar y temperatura de 1500 °C como temperatura máxima en la corriente GAS.

Para el ciclo Rankine se realizaron 9 simulaciones recopilando los datos del ciclo anterior destacando que la diferencia es que la presión corresponde a la bomba de agua (Ver Tabla 6).

Tabla 6. Resultados del rendimiento del LHV obtenido para los casos de estudio del ciclo Rankine.

PRESION Bar	TEMPERATURA ° C	W TOTAL MW	EFICIENCIA
	900	165.90	0.28
60	1200	190.03	0.33
	1500	201.02	0.34
90	900	173.84	0.30
	1200	200.55	0.34
	1500	212.96	0.37
120	900	178.36	0.31
	1200	207.10	0.36
	1500	220.63	0.38

El caso de estudio del ciclo Rankine con 120 bar de presión en la bomba y 1500 °C como temperatura máxima en la corriente GAS se muestra en la Figura 9. Esta configuración nos da un rendimiento del 38% que es un resultado esperado debido a que comúnmente se obtiene el 40% con condiciones de operación similares de acuerdo a las referencias citadas [9].

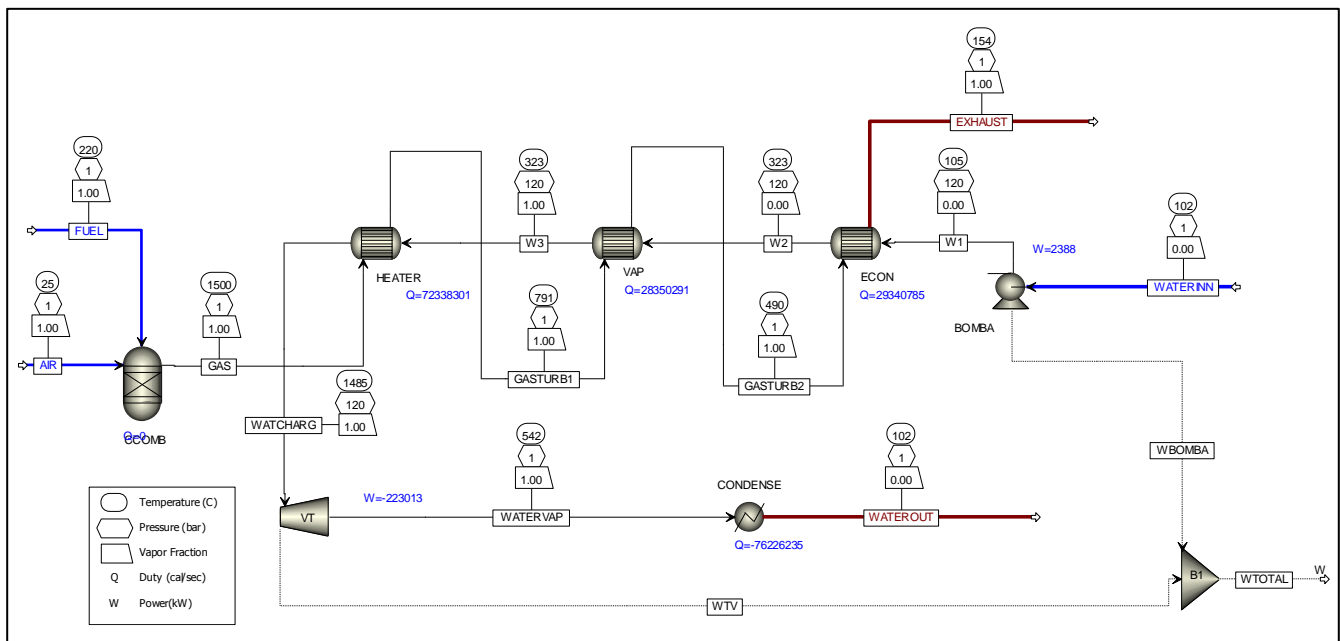


Figura 9. Simulación del ciclo Rankine con 120 bar de presión en la bomba y 1500 °C como temperatura máxima en la corriente GAS.

Para el ciclo combinado se realizaron 90 simulaciones. De las cuales se ordenó de mayor eficiencia a menor distinguiéndolas por una barra de color donde el verde representa los mejores resultados y el rojo los más deficientes (Ver Tabla 7).

Dentro de estas simulaciones se encontró que 13 de ellas no daban resultados debido a las condiciones de operación a las que se sometieron y es que a partir de 25 bar de presión en la combustión y 900° C como temperatura máxima en la corriente de gas obtenemos unas temperaturas muy similares en las corrientes GASTURB y W3 lo que provoca que no haya un intercambio de calor en ambas corrientes por lo que al entrar la corriente a la turbina de vapor la fase es una mezcla de líquido y vapor dando errores dentro del equipo VT.

Como podemos observar el caso de estudio del ciclo combinado con 35 bar de presión del sistema, 120 bar de presión en la bomba y 1500 °C como temperatura máxima en la corriente GAS nos da una eficiencia de 55.06%

que es un resultado favorable comparada con otros trabajos, como el del libro “Combined Cycle Power Plants” que nos da un 47.76% lo cual es de esperar, dado que las condiciones de presión y temperatura de dicho trabajo son de 16 bar y 1120 °C después de la combustión [10].

Tabla 7. Resultados del ciclo combinado ordenados de mayor a menor eficiencia.

PRESION DEL SISTEMA (Bar)	PRESION DE LA BOMBA (Bar)	TEMPERATURA (° C)	MW TOTAL	EFICIENCIA	PRESION DEL SISTEMA (Bar)	PRESION DE LA BOMBA (Bar)	TEMPERATURA (° C)	MW TOTAL	EFICIENCIA
35	120	1500	321.199451	0.5506	15	90	1200	264.395261	0.4532
25	120	1500	320.860063	0.5500	35	90	1200	263.887601	0.4524
30	120	1500	320.343552	0.5492	35	60	1200	263.48327	0.4517
40	120	1500	318.878473	0.5466	5	90	1200	262.872833	0.4506
45	120	1500	318.501047	0.5460	40	90	1200	258.406732	0.4430
50	120	1500	318.501047	0.5460	40	60	1200	258.133441	0.4425
30	90	1500	318.350448	0.5457	40	120	1200	257.203045	0.4409
20	120	1500	317.392653	0.5441	5	60	1200	254.180576	0.4357
40	90	1500	317.123099	0.5436	45	60	1200	251.910743	0.4318
35	90	1500	316.845813	0.5432	45	90	1200	250.212158	0.4289
25	90	1500	316.016402	0.5417	25	120	1200	248.763478	0.4265
20	90	1500	315.489223	0.5408	45	120	1200	247.021597	0.4235
15	120	1500	315.000076	0.5400	50	60	1200	244.923659	0.4199
30	60	1500	314.827228	0.5397	50	90	1200	241.334609	0.4137
45	90	1500	314.505795	0.5392	50	120	1200	238.07822	0.4081
50	90	1500	313.81086	0.5380	5	120	900	224.3517970	0.3846
35	60	1500	313.516103	0.5375	5	90	900	221.9137080	0.3804
25	60	1500	312.717428	0.5361	10	60	900	219.304738	0.3760
15	90	1500	312.557729	0.5358	10	90	900	217.637228	0.3731
20	60	1500	311.629758	0.5342	5	60	900	216.9723940	0.3720
40	60	1500	311.589944	0.5342	10	120	900	216.58562	0.3713
45	60	1500	311.425622	0.5339	15	60	900	208.474804	0.3574
50	60	1500	308.625787	0.5291	15	90	900	203.212455	0.3484
15	60	1500	305.07129	0.5230	15	120	900	198.416893	0.3401
10	120	1500	301.029953	0.5161	20	60	900	191.291756	0.3279
10	60	1500	295.841898	0.5072	20	90	900	183.858522	0.3152
10	90	1500	294.649749	0.5051	20	120	900	174.671715	0.2994
5	120	1500	282.946684	0.4851	25	60	900	169.759086	0.2910
5	90	1500	281.658702	0.4828	25	90	900	159.548544	0.2735
15	120	1200	281.1973	0.4821	30	60	900	147.857383	0.2535
10	120	1200	279.035173	0.4783	30	90	900	132.653515	0.2274
20	120	1200	278.582225	0.4776	35	60	900	117.59484	0.2016
10	90	1200	277.492893	0.4757	25	120	900	0	0.0000
20	90	1200	276.386523	0.4738	30	120	900	0	0.0000
15	60	1200	275.784645	0.4728	35	90	900	0	0.0000
20	60	1200	274.714898	0.4709	35	120	900	0	0.0000
5	60	1500	274.184061	0.4700	40	60	900	0	0.0000
10	60	1200	273.872504	0.4695	40	90	900	0	0.0000
25	90	1200	272.028757	0.4663	40	120	900	0	0.0000
30	120	1200	271.408754	0.4653	45	60	900	0	0.0000
30	90	1200	271.16825	0.4649	45	90	900	0	0.0000

25	60	1200	270.926546	0.4644	45	120	900	0	0.0000
5	120	1200	265.979562	0.4560	50	60	900	0	0.0000
30	60	1200	265.851654	0.4557	50	90	900	0	0.0000
35	120	1200	264.760405	0.4539	50	120	900	0	0.0000

Trabajo a futuro

Dentro de cada simulación del ciclo combinado se puede implementar una optimización modificando la alimentación de combustible junto con el aire para lograr una mejor combustión y obtener mejores resultados en la eficiencia de la planta. Se puede instalar un sistema de tres presiones en el ciclo combinado en vez de solo una presión de descarga, teniendo alta, media y baja presión. Además, se puede cambiar el agua en el ciclo Rankine por otro fluido que permita mejorar el rendimiento del ciclo. En general, este trabajo constituye un punto de partida para el análisis de otro tipo de esquemas más complejos y más amigables con el medio ambiente, como pueden ser Chemical Looping, ciclo AZEP, oxi-combustión entre otros.

Conclusiones

Este trabajo permite obtener valores estimados del rendimiento de tres ciclos típicos para la producción de energía a escala industrial, como era de esperar el ciclo combinado obtiene los mejores rendimientos de los ciclos y el aumento de la temperatura en la entrada a la turbina, produce una mejora de alrededor de un 4% en el rendimiento global. Por otro lado, las condiciones de operación encontradas y el comportamiento de los ciclos servirán de base para investigaciones posteriores.

Referencias

- [1] N. Fulghum, «EMBER GLOBAL ELECTRICITY REVIEW 2021 - PERFIL G20 - MÉXICO,» 2021.
- [2] SENER, «Demanda y consumo 2021-2035,» de *Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2021-2035*, 2021.
- [3] D. Díaz Pérez, O. Ocampo Albarrán y M. Ramiro X., «Discurso y realidad: el despacho eléctrico en México durante la actual administración,» 2021.
- [4] A. Ahmad Taimoor, M. Ehtisham Siddiqui y S. S. Abdel Aziz, «Thermodynamic Analysis of Partitioned Combined Cycle using Simple Gases,» *MDPI*, p. 21, 2019.
- [5] A. Hernández Madrigal y M. A. Petriz Prieto, «Análisis de la producción de energía en sistemas de oxy-combustión con captura de CO₂,» *CIM2021*, p. 8, 2021.
- [6] M. A. P. Prieto, V. Rico-Ramirez, G. Gonzalez-Alatorre y F. I. Gómez-Castro, «A Comparative Simulation Study of Power Generation Plants Involving Chemical Looping Combustion Systems,» *Computers and Chemical Engineering*, p. 46, 2015.
- [7] M. N. Khan, P. Chiesa, S. Cloete y S. Amini, «Integration of chemical looping combustion for cost-effective CO₂ capture from state-of-the-art natural gas combined cycles,» *Energy Conversion and Management: X*, vol. 7, p. 14, 2020.
- [8] M. Villegas y A. Barrón, «Optmización de las turbinas a gas, para la Universidad Tecnológica de Salamanca,» *Ciencias de los Procesos Industriales. Proceedings ECORFAN*, p. 20, 2015.
- [9] J. M. Béer, «High efficiency electric power generation: The environmental role,» *Energy and Combustion Science* 33, p. 28, 2006.
- [10] R. Gicquel, «Combined Cycle Power Plants,» de *Energy Systems. A New Approach to Engineering Thermodynamics*, Taylor & Francis Group, 2011, p. 10.

Diseño y simulación de un sistema diagnóstico de fallas con enfoque GOS en un reactor tipo CSTR

A. M. A. Romero Pérez^{1,2*}, M. A. Vaca Hernández¹, F. Caballero², B. García Rojas², F. J. Almazán Ruíz²

¹División de Ingeniería Química y Bioquímica, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Av. Tecnológico s/n, Col. Valle de Anáhuac, C.P. 55210, Ecatepec de Morelos Estado de México, México.

²Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza C. II, Universidad Nacional Autónoma de México, Batalla 5 de mayo s/n, Col. Ejército de Oriente, C.P. 09320, Iztapalapa CDMX, México.

[*orcamx@comunidad.unam.mx](mailto:orcamx@comunidad.unam.mx)

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen.

El presente trabajo expone el comportamiento de un sistema diagnóstico de fallas en sensores de un reactor de tanque continuamente agitado a partir de una estructura generalizada de observadores. Primero se linealizó el modelo matemático representativo del equipo mediante el método Newton-Raphson, y se verificó que cada observador sea completamente observable. Las matrices de ganancia L de los observadores se obtuvieron de las desigualdades matriciales lineales con una restricción vertical en la zona de estabilidad, que permitió un error de estimación igual a cero y una rápida convergencia. Empleando Simulink se programaron fallas abruptas para la generación de residuos, identificando que la estructura generalizada detecta y aísla el instrumento con falla en el caso de fallas individuales, pero no permite la localización cuando se presentan fallas múltiples.

Palabras clave: falla, diagnóstico, observador, reactor, enfoque GOS.

Abstract.

The present work exposes the behavior of a fault diagnosis system in sensors of a continuously stirred tank reactor from a generalized observer structure. First, the representative mathematical model equipment was linearized by Newton-Raphson method, and it was verified that each observer is completely observable. The L gain matrices of the observers were obtained from linear matrix inequalities with vertical restriction in the stability zone, which allowed zero estimation error and fast convergence. Using Simulink, abrupt faults were programmed for residue generation, identifying that the generalized structure detects and isolates the faulty instrument in the case of individual faults, but doesn't allow location when multiple faults occur.

Key words: fault, diagnosis, observer, reactor, GOS approach.

Introducción.

La industria química tiene como objetivo la obtención de productos con valor agregado mediante la transformación y manipulación de las propiedades de los materiales. Este proceso se lleva a cabo con el empleo de equipos e instrumentos que realizan acciones específicas bajo condiciones establecidas por el operador. Todas estas acciones que se realizan en el proceso de producción requieren un conjunto de operaciones en que la presencia del trabajador es constante, como es la puesta en marcha, paro de procesos, la vigilancia de equipos, la manipulación de productos, la gestión de alarmas y el mantenimiento, entre otras. Todo ello debe llevarse a cabo con el menor costo posible, dentro de las mejores condiciones de seguridad humana y medioambiental [1].

Una falla es un cambio no deseado en el comportamiento de los actuadores, sensores, o componentes del proceso. Dichas fallas pueden encaminar a la inestabilidad del proceso, provocando accidentes que dañen la integridad de los equipos, trabajadores y medio ambiente. Por esta razón, en las últimas décadas se ha vuelto vital el diseño de sistemas tolerantes a fallas que sean capaces de detectar la aparición de la anomalía para tomar acciones de prevención, correctivas, o de mantenimiento.

Las fallas pueden clasificarse dependiendo del comportamiento a través del tiempo que presentan. Aquellas que aparecen repentinamente en un tiempo específico de tiempo se identifica como falla abrupta, y puede ser modelada como una función escalón. La falla incipiente es aquella que aparece lentamente y no es claro el punto en el tiempo en donde se considera que la falla es lo suficientemente grande; y usualmente se modela con una función rampa. Finalmente, la falla intermitente es aquella que no es permanente y puede ser modelada con funciones tipo pulso, con diferentes longitudes y amplitudes [2].

El desarrollo de un sistema tolerante a fallas se divide en dos pasos [3]:

1. Diagnóstico de fallas. La presencia de fallas tiene que ser detectada e identificada.
2. Rediseño de control. El controlador tiene que ser adaptado para la situación de falla y lograr que el sistema continúe satisfaciendo la meta establecida.

Las técnicas de diagnóstico de fallas son usadas para la detección de la ocurrencia de fallas (detección), localización de la falla detectada (aislamiento), la reconstrucción de la señal en falla (estimación), y una precisa caracterización de la falla (identificación). En aplicaciones prácticas específicas, el término de detección y diagnóstico de fallas (FDD) puede incluir únicamente la detección, o incluir aspectos de aislamiento, estimación o identificación [4].

En general, las técnicas de diagnóstico de fallas se clasifican en dos categorías: pasivas y activas. Los métodos pasivos usan información de entrada y salida del sistema para generar residuales para el diagnóstico de fallas. El método activo suele diseñar señales auxiliares que cumplen ciertos requisitos para fallas específicas del sistema [5].

La detección y aislamiento de fallas mediante la generación de residuos puede desarrollarse mediante un banco de observadores, los cuales emplean modelos matemáticos que describen los estados dinámicos del proceso. Existen principalmente dos esquemas de bancos observadores (Figura 1): esquema generalizado de observadores (GOS) y esquema dedicado de observadores (DOS). En los GOS, cada observador es diseñado para ser sensible a todas las fallas excepto una, mientras en el DOS, cada observador es sensible únicamente a una falla [6]. El diseño de un banco de observadores permite un sistema FDD económico, en el cual se recurre a la información proporcionada por los instrumentos existentes del sistema de interés y una baja exigencia computacional para el diagnóstico de falla.

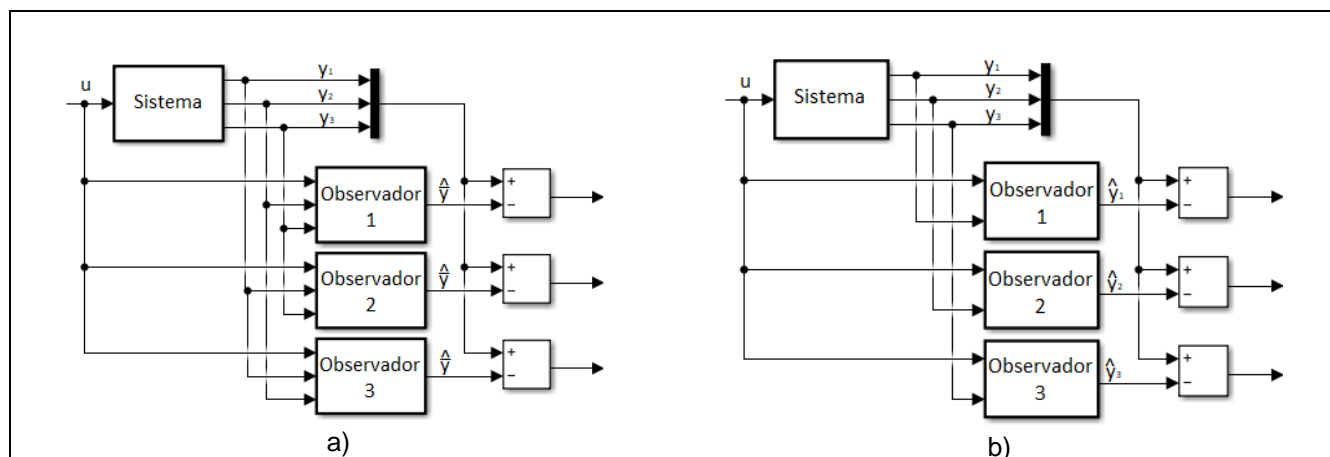


Figura 1. a) Esquema generalizado de observadores y b) esquema dedicado de observadores.

Uno de los criterios para la selección del tipo de enfoque para el FDD es la propiedad de observabilidad del sistema, ya que bajo un enfoque DOS los observadores tienden a no cumplir esta propiedad entre más complejo sea el sistema de estudio.

En el presente trabajo se emplean modelos matemáticos que representan la dinámica de reacción en un reactor de tanque continuamente agitado (CSTR) para el diseño de un FDD con enfoque GOS para sensores de concentración y temperatura, y se genera una matriz de incidencias mediante los residuos de los observadores para la determinación del sensor con falla.

Metodología.

Modelo dinámico de un CSTR.

Se considera una reacción exotérmica de primer orden de la forma $A \rightarrow B$, cuyas ecuaciones dinámicas que representan al sistema CSTR son:

$$V \frac{dC_a}{dt} = F_0(C_{a0} - C_a) - V\alpha \exp(-E/RT) C_a$$

(Ecuación 1)

$$\rho C_p V \frac{dT}{dt} = \rho C_p F_0(T_0 - T) - \lambda V\alpha \exp(-E/RT) C_a - UA(T - T_j)$$

(Ecuación 2)

$$\rho_j C_j V_j \frac{dT_j}{dt} = \rho_j C_j F_j(T_{j0} - T_j) + UA(T - T_j)$$

(Ecuación 3)

Donde C_a , T y T_j son la concentración del reactivo A, temperatura de la mezcla reaccionante, y temperatura del agua de enfriamiento que se emplea en el enchaquetado, respectivamente. El flujo de alimentación al reactor se considera igual al flujo de salida. Los valores de los parámetros empleados en las ecuaciones anteriores se reportan en la tabla 1.

Tabla 1. Valores de los parámetros del CSTR. Tomado de [7].

$F_0 = 40 [ft^3/hr]$	Flujo de entrada.	$U = 150 [BTU/hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ R]$	Coefficiente global de transferencia de calor.
$F = 40 [ft^3/hr]$	Flujo de salida.	$A = 250 [ft^2]$	Área de transferencia de calor.
$C_{a0} = 0.5 [mol/ft^3]$	Concentración de entrada.	$T_{j0} = 530 [^\circ R]$	Temperatura de entrada del refrigerante.
$V = 48 [ft^3]$	Volumen del reactor.	$T_0 = 530 [^\circ R]$	Temperatura de entrada.
$F_j = 49.9 [ft^3/hr]$	Flujo del refrigerante.	$\lambda = -30000 [BTU/mol]$	Calor de reacción.
$V_j = 3.85 [ft^3]$	Volumen de agua en la chaqueta.	$C_p = 0.75 [BTU/lb_m \cdot ^\circ R]$	Calor específico.
$\alpha = 7.08 \times 10^{10} [hr^{-1}]$	Frecuencia de colisiones.	$C_j = 1 [BTU/lb_m \cdot ^\circ R]$	Calor específico del refrigerante.
$E = 30000 [BTU/mol]$	Energía de activación.	$\rho = 50 [lb_m/ft^3]$	Densidad.
$R = 1.99 [BTU/mol \cdot ^\circ R]$	Constante de los gases.	$\rho_j = 62.3 [lb_m/ft^3]$	Densidad del refrigerante.

Modelo del sistema en forma de espacio de estados.

El espacio de estados es una forma matricial de representar la dinámica de los estados del sistema, considerando los parámetros de alimentación y las señales medidas por los sensores. Las ecuaciones del espacio de estados se expresan como:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

(Ecuación 4)

$$y(t) = Cx(t)$$

(Ecuación 5)

Una de las técnicas para establecer el modelo dinámico en su forma de espacio de estados es la linealización de los modelos matemáticos, para ello primero se deben calcular los puntos de equilibrio o de operación igualando a cero las ecuaciones 1, 2 y 3, empleando el método de Newton-Raphson Multivariable (NRM):

$$x_{s+1} = x_s - J(x_s)^{-1}f(x_s)$$

Los elementos de la matriz A se establecen a partir de la evaluación del Jacobiano en los puntos de equilibrio obtenidos anteriormente, mientras que los elementos de la matriz B corresponden a los coeficientes que afectan a los parámetros de operación C_{a0} , T_0 y T_{j0} . Por lo tanto, considerando variables de desviación, la ecuación 4 toma la forma:

$$\begin{bmatrix} \dot{\mathcal{C}}_A(t) \\ \dot{\Theta}(t) \\ \dot{\Theta}_j(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{F_0}{V} - \alpha \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) & -\frac{\alpha E}{RT^2} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) C_{as} & 0 \\ -\frac{\alpha \lambda}{\rho C_p} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) & -\frac{F_0}{V} - \frac{\alpha \lambda E}{\rho C_p RT^2} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) C_{as} - \frac{UA}{\rho C_p V} & \frac{UA}{\rho C_p V} \\ 0 & \frac{UA}{\rho_j C_j V_j} & -\frac{F_j}{V_j} - \frac{UA}{\rho_j C_j V_j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathcal{C}_A(t) \\ \Theta(t) \\ \Theta_j(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{F_0}{V} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{F_0}{V} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{F_j}{V_j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(t) \\ U_2(t) \\ U_3(t) \end{bmatrix}$$

(Ecuación 6)

Donde \mathcal{C}_A , Θ , Θ_j y U son las desviaciones de la concentración del reactivo A , temperatura del reactor, temperatura del agua de enfriamiento y entradas al sistema.

Observabilidad para el sistema FDD bajo enfoque GOS.

Para garantizar el diseño del sistema FDD bajo un enfoque GOS de los n estados medibles, se debe determinar que cada uno de los observadores a establecer cumplan con el criterio de observabilidad, el cual se logra si la matriz de observabilidad L_o tiene un rango n :

$$L_o = \left[C^T : A^T C^T : A^{T^2} C^T : \dots : A^{T^{n-1}} C^T \right]$$

Recordando que el observador n recibe la medición de todos los sensores excepto el n , los elementos de la matriz C para cada uno de ellos se reportan en la tabla 2.

Tabla 2. Elementos de la matriz C para los observadores.

Observador 1	Observador 2	Observador 3
$c = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$c = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$c = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$

Diseño de los observadores.

Los observadores que se emplean para el diseño del sistema FDD son del tipo Luenberger, cuya expresión es:

$$\hat{X}(t) = A\hat{X}(t) + BU(t) + L[Y(t) - \hat{Y}(t)]$$

(Ecuación 7)

$$\hat{Y}(t) = C\hat{X}(t)$$

(Ecuación 8)

Con un error de estimación calculado de la forma:

$$e(t) = X(t) - \hat{X}(t)$$

(Ecuación 9)

En donde la matriz L es la ganancia del observador, la cual se calcula de tal manera que el error de estimación sea mínimo, por lo tanto:

$$\dot{e}(t) = \dot{X}(t) - \dot{\hat{X}}(t)$$

(Ecuación 10)

Sustituyendo la ecuación 4, 5, 7 y 8 en 10; y simplificando términos se obtiene la ecuación:

$$\dot{e}(t) = (A - LC)e(t)$$

(Ecuación 11)

Recordando que el valor de L debe provocar que el error tienda asintóticamente a cero, es decir, sea estable. Para calcular los elementos de la matriz L se emplea el método de estabilidad de Lyapunov el cual considera una función cuadrática:

$$V(e) = e^T P e > 0$$

(Ecuación 12)

Con:

$$P = P^T > 0$$

(Ecuación 13)

La derivada de la desigualdad 12 se expresa como:

$$\dot{V}(e) = \dot{e}^T P e + e^T P \dot{e} < 0$$

(Ecuación 14)

Manipulando la ecuación 14 con la ecuación 10 se llega a la desigualdad:

$$A^T P + P A - P L C - C^T L^T P < 0$$

(Ecuación 15)

Sin embargo, la desigualdad anterior presenta un comportamiento no lineal dado que las matrices P y L de diseño son incógnitas para obtener, por lo que se considera que:

$$Q = P L$$

(Ecuación 16)

Es así como la ecuación 15 se reescribe como:

$$A^T P + P A - Q C - C^T Q^T < 0$$

(Ecuación 17)

Recordando que las desigualdades matriciales lineales (LMI) 13 y 17 deben satisfacerse simultáneamente.

Si se desea modificar la velocidad de respuesta del observador, una estrategia a incorporar es la restricción en la colocación de polos arbitraria de las LMI mediante la acotación en la región de estabilidad.

Definiendo una región vertical como se muestra en la Figura 2, se describe una región S caracterizada por la función:

$$f_s = z^T + z + 2\zeta$$

Aplicando esta región de solución a la desigualdad de Lyapunov en 17 se obtiene:

$$A^T P + PA - QC - C^T Q^T + 2\zeta P < 0$$

(Ecuación 18)

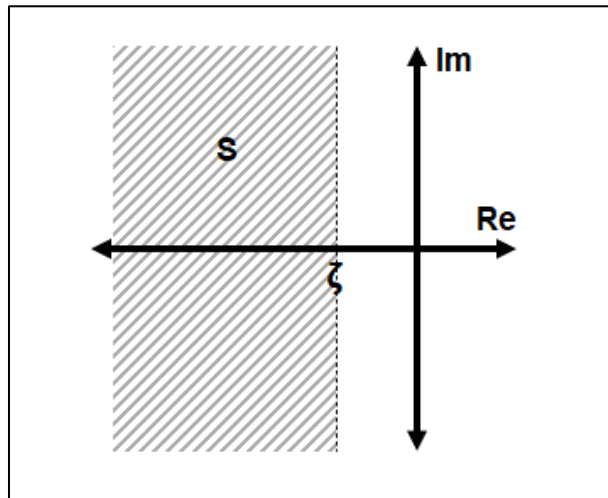


Figura 2. Región de estabilidad acotada verticalmente.

Generación de la matriz de incidencias por residuales.

Para la detección y aislamiento de falla en el sistema, se procede a generar una matriz de incidencias, como se muestra en la Tabla 3, a partir de los residuales de los observadores calculadas con:

$$r(t) = |y(t) - \hat{y}|$$

(Ecuación 19)

Tabla 3. Matriz de incidencias de fallas.

	r_1	r_2	r_3
Falla en y_1	0	1	1
Falla en y_2	1	0	1
Falla en y_3	1	1	0

Resultados y discusión.

Para el caso del CSTR de estudio se presentan tres tríos de puntos de equilibrio, en el presente trabajo se calculan solamente uno de estos. Sustituyendo los datos de la Tabla 1 en el algoritmo (NRM) y suponiendo para una primera iteración los valores $C_{as} = 0.3, T_s = 530$ y $T_{js} = 530$, se obtienen los puntos de equilibrio $C_{as} = 0.4785, T_s = 533.3243$ y $T_{js} = 533.0698$.

Sustituyendo los valores anteriores y los reportados en la Tabla 1 se obtienen los elementos de las matrices A y B reportadas en la Tabla 4.

Tabla 4. Matrices A y B del sistema CSTR.

$A = \begin{bmatrix} -0.8709 & -0.0010 & 0 \\ 29.9918 & -20.9061 & 20.8333 \\ 0 & 156.3445 & -169.3055 \end{bmatrix}$	$B = \begin{bmatrix} 0.8333 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8333 & 0 \\ 0 & 0 & 12.9610 \end{bmatrix}$
---	---

Considerando los tres casos de matriz C de la Tabla 2 para el banco GOS, la matriz de observabilidad L_0 tiene dimensiones de 6×3 , sin embargo, hay renglones de estas matrices que son linealmente dependientes, por tal motivo los rangos calculados de las matrices de observabilidad L_0 son iguales a 3, por lo que el sistema es completamente observable en cada uno de los observadores.

Con la finalidad de analizar la dinámica que puede presentar el banco GOS, primeramente, se resuelven mediante el software SeDuMi de Yalmip las LMI 13 y 17 para el cálculo de las matrices P, Q y L considerando que la matriz C mide los tres estados del CSTR. La respuesta a este observador se puede visualizar en la Figura 3a, en donde se presenta un valor estimado altamente oscilatorio y de lenta convergencia al valor real del sistema, por esta razón se establece una restricción de región en la zona de estabilidad mediante la desigualdad 18. Al considerar un valor de $\zeta = 10$ y resolviendo simultáneamente las LMI 13 y 18 para el cálculo de las matrices P, Q y L se presenta la respuesta reportada en la Figura 3b, en la cual los valores estimados convergen al valor real del CSTR de una mejor forma que en el caso anterior.

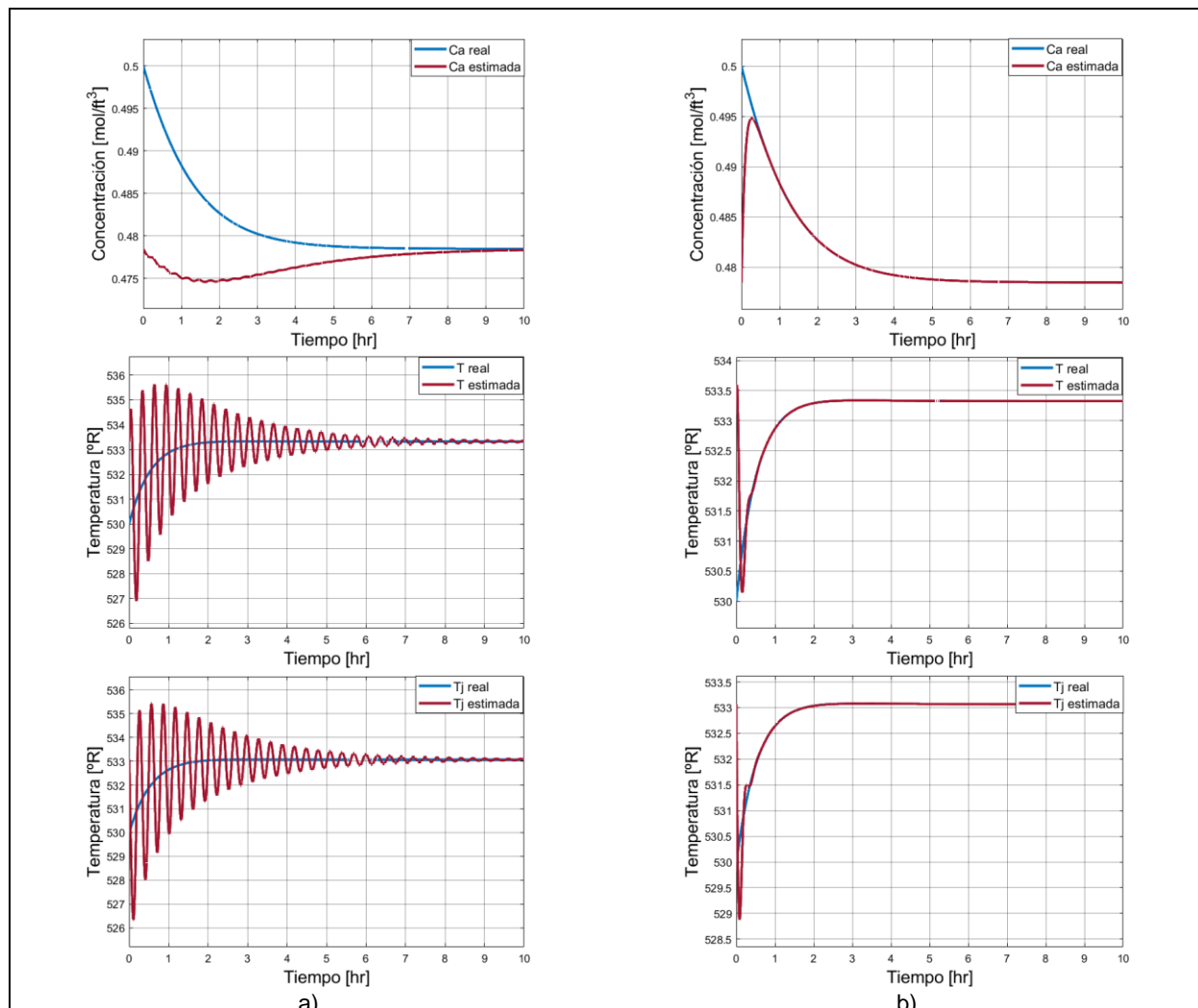


Figura 3. Dinámica del observador con todos los estados medibles del CSTR.

Empleando la restricción $\zeta = 10$ para el diseño de cada uno de los observadores de los casos de la Tabla 2, se calcula para cada uno de ellos las matrices P, Q y L resolviendo las LMI 13 y 18.

Al simular una falla de tipo abrupta en el sensor de concentración (y_1) cuando $t = 8$ [hr], se calculan los residuos a partir de la ecuación 19, generando la respuesta reportada en la Figura 4a de cada observador del banco GOS. Para este caso, los residuos de la temperatura dentro del reactor y la temperatura del refrigerante son iguales a cero en cada observador.

Dado que en los observadores 2 y 3 de la Figura 4a se aprecia que el residuo de la concentración del reactivo A es diferente de cero a partir de $t = 8$ [hr], se detecta la existencia de falla en el sensor y_1 , recordando que el observador 1 es insensible a este fallo.

De manera similar, al crear una única falla abrupta en el sensor de temperatura dentro del reactor (y_2) en $t = 8$ [hr], se visualizan residuos diferentes de cero en los observadores 1 y 3 de la Figura 4b. Para este caso el observador 1 también detecta residuo diferente de cero en la concentración del reactivo A , pero debido a que el observador 2 genera residuos iguales a cero, se declara la detección de falla en el sensor y_2 .

Finalmente, al simular una sola falla abrupta en el sensor del refrigerante (y_3) en $t = 8$ [hr], se presentan residuos diferentes de cero en los observadores 1 y 2 en la Figura 4c. En este último caso, en el observador 1 aparece un residuo diferente de cero en la temperatura dentro del reactor, sin embargo, debido a que en el observador 3 todos los residuos son iguales a cero, la detección de falla es únicamente en el sensor y_3 .

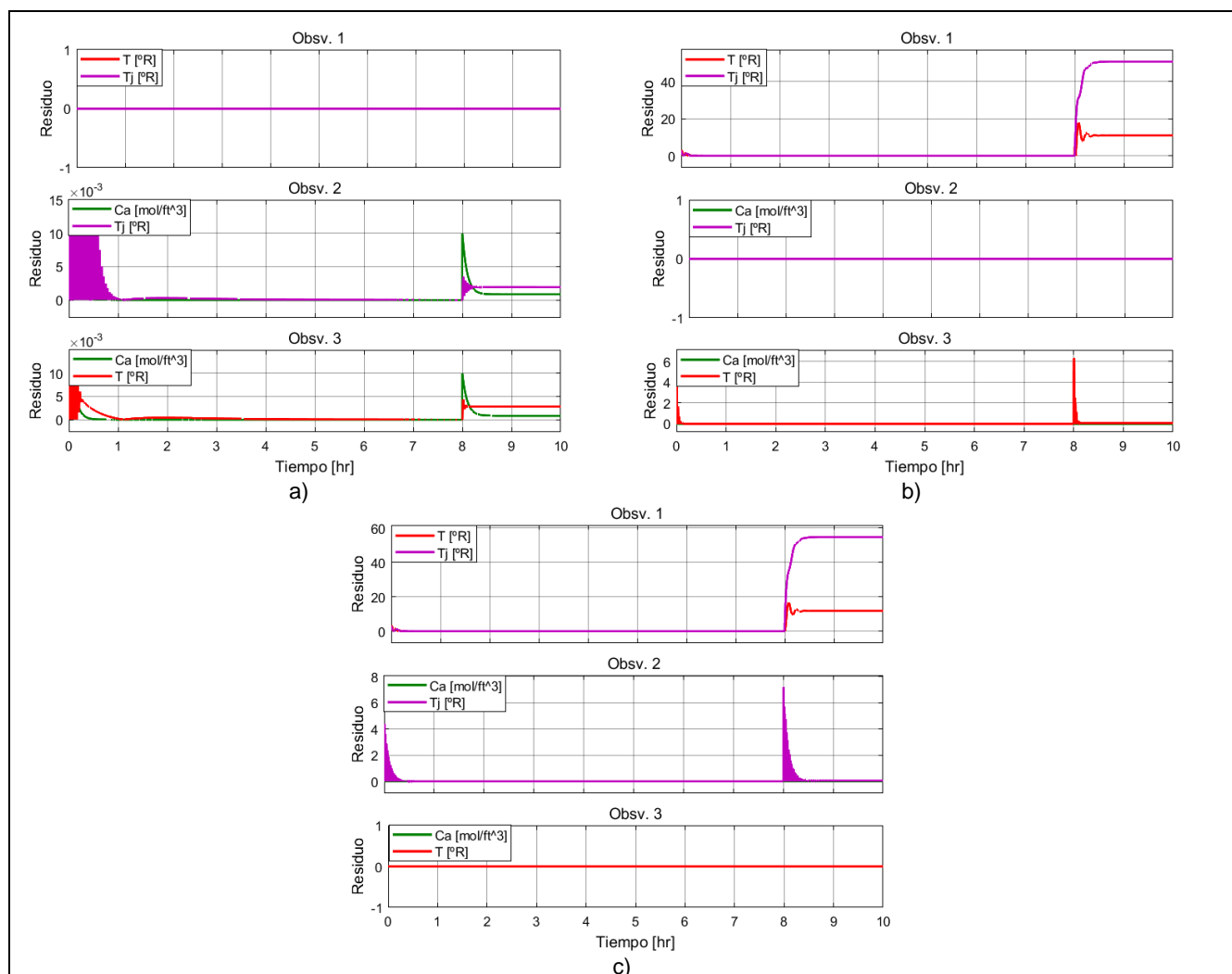


Figura 4. Residuos del banco GOS para falla en el sensor de a) la concentración del reactivo A , b) la temperatura dentro del reactor, y c) la temperatura del refrigerante.

En la Figura 4 se aprecia que, para el inicio del proceso, el residuo también es diferente de cero, esto se debe a que en los minutos iniciales el observador aun no logra converger a los estados reales, por tal motivo en esta zona de tiempo no se analiza la existencia de falla.

Dentro de la Figura 5 se reportan los casos de fallas simultáneas abruptas. En la Figura 5a se considera el caso de fallas en el sensor de concentración y temperatura del reactor, en la Figura 5b fallas en ellos sensores de concentración y temperatura del servicio de enfriamiento, y finalmente la Figura 5c muestra el evento de falla en los sensores de temperatura del reactor y temperatura del servicio de enfriamiento. Como se puede analizar, el banco de observadores GOS permite detectar la ocurrencia de falla, pero no el aislamiento. El comportamiento anteriormente descrito para fallas múltiples se puede comparar con los reportados en los trabajos [8] y [9] en los cuales desarrollan sistemas diagnósticos a partir de bancos de observadores, aplicados a modelos de vehículos y transporte.

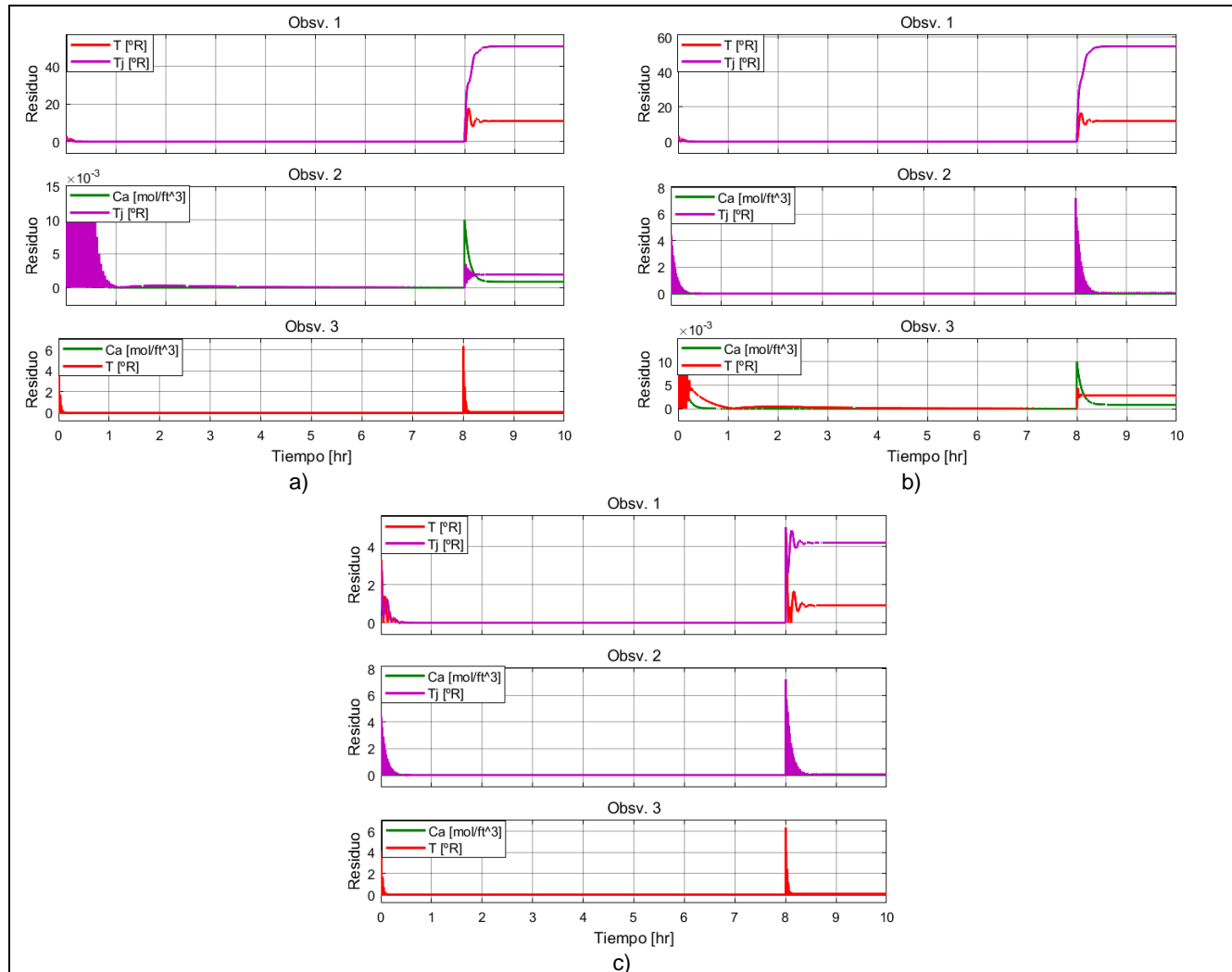


Figura 5. Respuesta del banco GOS a falla múltiples en los sensores del CSTR en a) y_1 y y_2 , b) y_1 y y_3 , c) y_2 y y_3 .

Trabajo a futuro

Debido a que el banco de observadores GOS no logra aislar fallas múltiples, el siguiente paso es el diseño de un banco con enfoque DOS para cumplir con este objetivo.

Las mediciones estudiadas en este trabajo han sido consideradas de manera ideal, es decir, sin ruido que comúnmente se presenta en las lecturas. Por lo anterior, se deberá diseñar otro tipo de observador que limpie la señal con ruido y a su vez converja de manera adecuada los estados estimados con los valores reales de estos.

Los siguientes estudios abarcarán no sólo fallas en sensores, también en actuadores, y la capacidad del observador de estimar la magnitud de la falla para avanzar al segundo paso de un estudio tolerante a fallas que es el control.

Conclusiones

Al establecer el modelo dinámico del CSTR en su forma de espacio de estados, y calcular el rango de la matriz de observabilidad en los casos de falla en alguno de los sensores, se garantizó la posibilidad de diseñar un sistema FDD con enfoque GOS.

Debido a la fuerte no linealidad del modelo real del CSTR, al resolver las LMI para el diseño de los observadores tipo Luenberger, las ganancias obtenidas provocan una estimación de estados estables, pero con un comportamiento altamente oscilatorio y lenta convergencia. Por lo anterior, se tuvo que recurrir a una restricción en la región de estabilidad para mejorar el comportamiento de los observadores, aprovechando la idealidad en las mediciones, logrando una rápida convergencia de los valores estimados y los valores reales.

El FDD con enfoque GOS diseñado logra aislar fallas individuales para cada uno de los sensores propuestos, sin embargo, para fallas múltiples el sistema detecta la falla, pero no es capaz de identificar en qué sensores se presentó la falla.

Lograr detectar y aislar la falla, permite tomar una acción correctiva ya sea de ajuste en el proceso, o en su defecto, de mantenimiento, para evitar accidentes que provoquen el daño de personas, equipos, o medio ambiente.

Agradecimientos

Los autores agradecen los recursos financieros otorgados para el desarrollo del presente trabajo, en particular a los programas UNAM-DGAPA-PAPIIT IN112122 y UNAM-DGAPA-PAPIME PE111820.

Referencias

- [1] J. L. Medina, and J. M. Guadayol, *La automatización en la industria química*. 1a ed. Cataluña: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2010.
- [2] T. Escobet, A. Bregon, B. Pulido, and V. Puig, *Fault Diagnosis of Dynamic Systems. Quantitative and Qualitative Approaches*. 1a ed. Cham: Springer Cham, 2019.
- [3] M. Blanke, M. Kinnaert, J. Lunze, and M. Staroswiecki, *Diagnosis and Fault-Tolerant Control*. 3d ed. London: Springer London, 2016.
- [4] A. Vargas, *Solving Fault Diagnosis Problems. Linear Synthesis Techniques*. 1a ed. Cham: Springer Cham, 2017.
- [5] Z. Zhang, and X. He, "Active Fault Diagnosis for Linear Systems: Within a Signal Processing Framework," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 71, pp. 1-9, 2022.
- [6] S. Gómez, G. Valencia, F. R. López, C. M. Astorga, R. A. Osornio, and I. Santos, "Sensor fault diagnosis based on a H_∞ sliding mode and unknown input observer for Takagi-Sugeno systems with uncertain premise variables," *Asian Journal of Control*, vol. 21, no. 1, pp. 1-15, 2019.
- [7] M. Shacham, N. Brauner, and M. B. Cutlip, "Exothermic CSTRs: Just How Stable are the Multiple Steady States?," *Chemical engineering education*, vol. 28, no. 1, pp. 30-35, 1994.
- [8] J. J. Avilés, "Detección, aislamiento y estimación de fallas aplicado a vehículos aéreos no tripulados del tipo quadrotor," Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich., 2021.
- [9] F. Nemat, S. M. Safavi, and A. Zemouche, "A nonlinear observer-based approach to fault detection, isolation and estimation for satellite formation flight application," *Automatica*, vol. 107, pp. 474-482, 2019.

Material biodegradable a partir de biopolímeros utilizado en productos cárnicos: Estudio preliminar.

Rodolfo Rendón Villalobos^{1*}, Carlos Pacual Teresa², Rodrigo Olvera Barrera³

¹Instituto Politécnico Nacional-CEPROBI. Calle Ceprobi 8, San Isidro, Yautepec, Mor. 62731. México.

²Universidad Interserrana del estado del Puebla-Ahuacatlán. Km 1 Carretera Amixtlán San Andrés Tlayehualancingo, 73330. Puebla, México.

³Instituto Politécnico Nacional-UPIBI. Av. Acueducto, La Laguna Ticoman, Gustavo A. Madero, 07340 Ciudad de México, México.

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El objetivo de este trabajo fue obtener un material biodegradable a partir de biopolímeros con potencial uso en productos cárnicos. Se elaboraron películas con 4 formulaciones: (A₁) = almidón de papa blanca 75% - gelatina 25%; (A₂) = almidón de papa blanca 50% - gelatina 50%; (A₃) = almidón de papa aérea 75% - gelatina 25%; (A₄) = almidón de papa aérea 50% - gelatina 50%. El material fue caracterizado mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), permeabilidad al vapor de agua (PVA) así como observación visual de un producto cárnico en refrigeración empaquetado en este material. El MEB mostró que las muestras presentan una superficie con rugosidades y algunas partes lisas. La muestra A₃ presenta cavidades de mayor tamaño en comparación con la muestra A₁. Las películas a base de biopolímeros presentan mayor PVA en comparación a aquella a base de polímero sintético.

Palabras clave: Material biodegradable, polímero natural, producto cárnico.

Abstract

The objective of this work is to obtain a biodegradable material from biopolymers with potential use in meat products. Films were made with 4 formulations: (A₁) = white potato starch 75% - gelatin 25%; (A₂) = white potato starch 50% - gelatin 50%; (A₃) = aerial potato starch 75% - gelatin 25%; (A₄) = aerial potato starch 50% - gelatin 50%. The material was characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM), water vapor permeability (WVP) as well as visual observation of a refrigerated meat product packaged in this material. The SEM showed that the samples have a rough surface and some smooth parts. Sample A₃ has larger cavities on the surface compared to sample A₁. Biopolymer-based films have higher WVP compared to synthetic polymer-based films.

Key words: Biodegradable material, natural polymer, meat product.

Introducción

Gran variedad de polímeros no renovables es utilizada desde hace décadas en la elaboración de materiales plásticos sintéticos, con diversos usos tanto en sector médico como tecnológico [1]. La mayoría son fabricados a base de petróleo y, la ventaja que ha encontrado el consumidor ha sido su maleabilidad, ligereza, suavidad, transparencia y resistencia [2]. En los últimos años la creciente dependencia de los plásticos como un artículo de uso diario ha desencadenado un aumento en su producción y posterior eliminación, por consiguiente, las implicaciones medioambientales son una preocupación creciente [3], ya que de cierta forma el material plástico es difícil de separar y actualmente se recicla muy poco [4]. Aunque las tecnologías para la recuperación de los desechos plásticos se han mejorado en los últimos años, un aumento en la población mundial de alrededor de 9 mil millones en 2050, requiere una mayor demanda de producción de material plástico y eventualmente, un aumento en la cantidad de desechos plásticos [5]

El uso de los plásticos llamados como “un solo uso”, generalmente son utilizados una sola vez y luego son desechados; aunque algunos residuos de plástico son reciclados la mayoría termina en una disposición inadecuada, una amenaza debido a su cantidad cada vez mayor de residuos sólidos [6]. Los materiales plásticos

son principalmente usados para empaques (~ 40%); sin embargo, se estima que solamente 50% de todos los productos plásticos son considerados desechables y solamente 9% es reciclado [7].

Varios investigadores han tomado la iniciativa de desarrollar plásticos que sean biodegradables, activos e inteligentes, en la utilización de compuestos de origen natural, los cuales prolonguen aún más la vida útil de los alimentos sin afectar significativamente el medio ambiente [5,6,8]. Esto ha generado que se le dé más valor y prioridad a la elaboración de plásticos biodegradables y ha ido en incremento hasta un 30% en comparación con los plásticos no degradables [9,10].

El plástico biodegradable puede ser degradado por microorganismos naturales como las bacterias, hongos y algas para producir agua, dióxido de carbono y/o metano, biomasa y compuestos inorgánicos [11]. Entre las biomoléculas más utilizadas para producir materiales biodegradables está el almidón, debido a su bajo costo, alta tasa de biodegradación y abundancia en la naturaleza [12]. La gelatina es otro atractivo biopolímero con varios beneficios potenciales incluyendo bajo costo de producción a gran escala y, fácil degradación [13]. El objetivo de este trabajo fue la obtención de un material biodegradable a partir de biopolímeros, con potencial uso en productos cárnicos.

Metodología

Materiales

Se utilizó gelatina granulada de origen bovino (Gelita, Mococa Brasil), almidón de papa blanca (Avebe, Veendam Holland) grado alimenticio, glicerol (J.T. Backer, New Jersey, USA) grado reactivo, aceite de canela (Terravita, México) grado alimenticio, NaBr, NaCl y sílica gel (J.T. Backer, New Jersey, USA). El almidón de papa aérea fue facilitado por un centro de Investigación del IPN.

Preparación del material biodegradable

Para la formación del material biodegradable (películas), se elaboraron 4 formulaciones: (A₁) = almidón de papa blanca 75% - gelatina 25%; (A₂) = almidón de papa blanca 50% - gelatina 50%; (A₃) = almidón de papa aérea 75% - gelatina 25%; (A₄) = almidón de papa aérea 50% - gelatina 50%.

El almidón se mantuvo en agitación y calentamiento durante 10 minutos hasta alcanzar una temperatura de 90 °C para inducir su gelatinización; las dispersiones de gelatina estuvieron bajo agitación durante 10 minutos a 60 °C. Las mezclas de almidón/gelatina se prepararon después de tener las dispersiones, se mezclaron con glicerol y el aceite de canela, se llevó a agitación (125 rpm) y una velocidad de calentamiento constante de (3 °C/min) hasta alcanzar 60 °C. Para reducir el tamaño y evitar la formación de posibles agregados, la formulación se sonicó en un equipo ultrasonicador (Branson 2510MT ultrasonic cleaner) durante 25 min a 60 °C. La solución se vertió en placas de vidrio (12 cm de ancho por 18 cm de largo) y se secó en una estufa de flujo de aire continuo (Barnstead International™, Model Imperial V) a 35 °C durante 15 h [14].

Caracterización del material biodegradable por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

Para el análisis morfológico superficial se obtuvieron fotomicrografías con un equipo marca Carl Zeiss EVO LS 10. Se colocaron muestras de 5 x 5 mm en el microscopio electrónico en una placa de aluminio con cinta de carbono de doble adhesión; el modo de operación fue al alto vacío. Se utilizó un detector de electrones secundarios, un voltaje de 5.00 kV, distancia de trabajo de 8 mm y magnificaciones de 500 X y 1000 X [15].

Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Se determinó siguiendo el método gravimétrico de la ASTM D1653-13 [16], con algunas modificaciones principalmente en el uso del volumen de la sílica gel. Las películas se cortaron en círculos con un diámetro de 7 cm, fueron acondicionados a una humedad relativa de 57.0% conferida por una solución saturada de NaBr y posteriormente colocadas en la parte superior de la celda de permeación. Se depositaron 50 mL de sílica gel en el interior de cada celda para generar una humedad relativa del 0% y fueron colocadas en un desecador provisto de solución saturada de NaCl al 75% de humedad relativa (HR). Los cambios en el peso se determinaron gravimétricamente cada hora hasta alcanzar el equilibrio y, una vez alcanzado se midió el espesor de la película para calcular la PVA.

Pruebas del material biodegradable con producto cárnico

Para las pruebas con producto cárnico que puedan mantener de forma higiénica y eficiente el producto fresco, se utilizó una selladora térmica para bolsas de polietileno (Alpha Toner, México) con la cual se elaboraron empaques (bolsas) rectangulares de 11 cm. de ancho por 14 cm. de largo utilizando el material biodegradable obtenido. En estas bolsas se colocó material cárnico (jamón), se selló la bolsa y se mantuvieron en refrigeración (4 °C) por 21 días para observar si hay presencia y crecimiento de microorganismos en la parte superficial del producto cárnico. Se utilizó una bolsa de polietileno de baja densidad (LDPE, por sus siglas en inglés) como control.

Resultados y discusión

Obtención de material biodegradable

Se obtuvieron películas que, al ser desprendidas de las placas de vidrio, fueron manejables, flexibles y no presentaron rupturas y/o burbujas (Figura 1). A simple vista se puede observar que las películas presentaron una homogenización en sus componentes, pudiéndose entender que hubo una buena dispersión en la matriz polimérica y, que existió una buena compatibilidad entre los componentes mezclados.

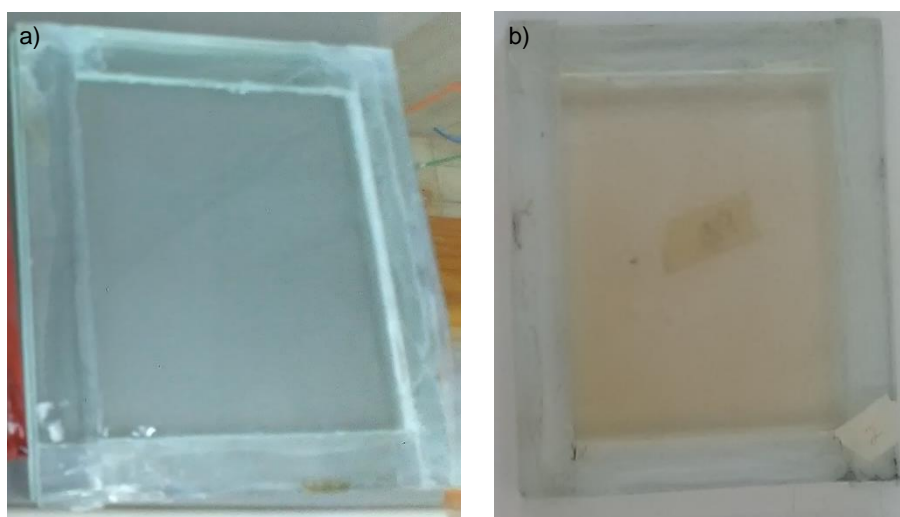


Figura 1. Material biodegradable: a) almidón de papa blanca; b) almidón de papa aérea.

Caracterización por MEB

En la Figura 2 se presentan los resultados de las fotomicrografías MEB de las películas obtenidas por *casting*, a partir de biopolímeros almidón/gelatina.

En general se puede observar que todas las muestras presentan una superficie con rugosidades y algunas partes lisas. Sin embargo, es evidente que existe mayor rugosidad en las muestras donde la concentración de almidón es mayor (A_1 y A_3) y, es relevante señalar que en la muestra de almidón de papa aérea (A_3) se observa la presencia de cavidades de mayor tamaño en la superficie de la película en comparación con la muestra A_1 .

Esto puede atribuirse al tamaño de los gránulos de almidón con que fueron elaboradas las películas, así como también a que después de que los gránulos son sometidos a altas temperaturas y estallan dejando libres las cadenas de amilosa y amilopectina, es probable que el estado de compactación al momento de secarse las películas varíe. Sin embargo, cuando las cadenas presenten un mejor arreglo les permite crear superficies compactas y mínima rugosidad [17].

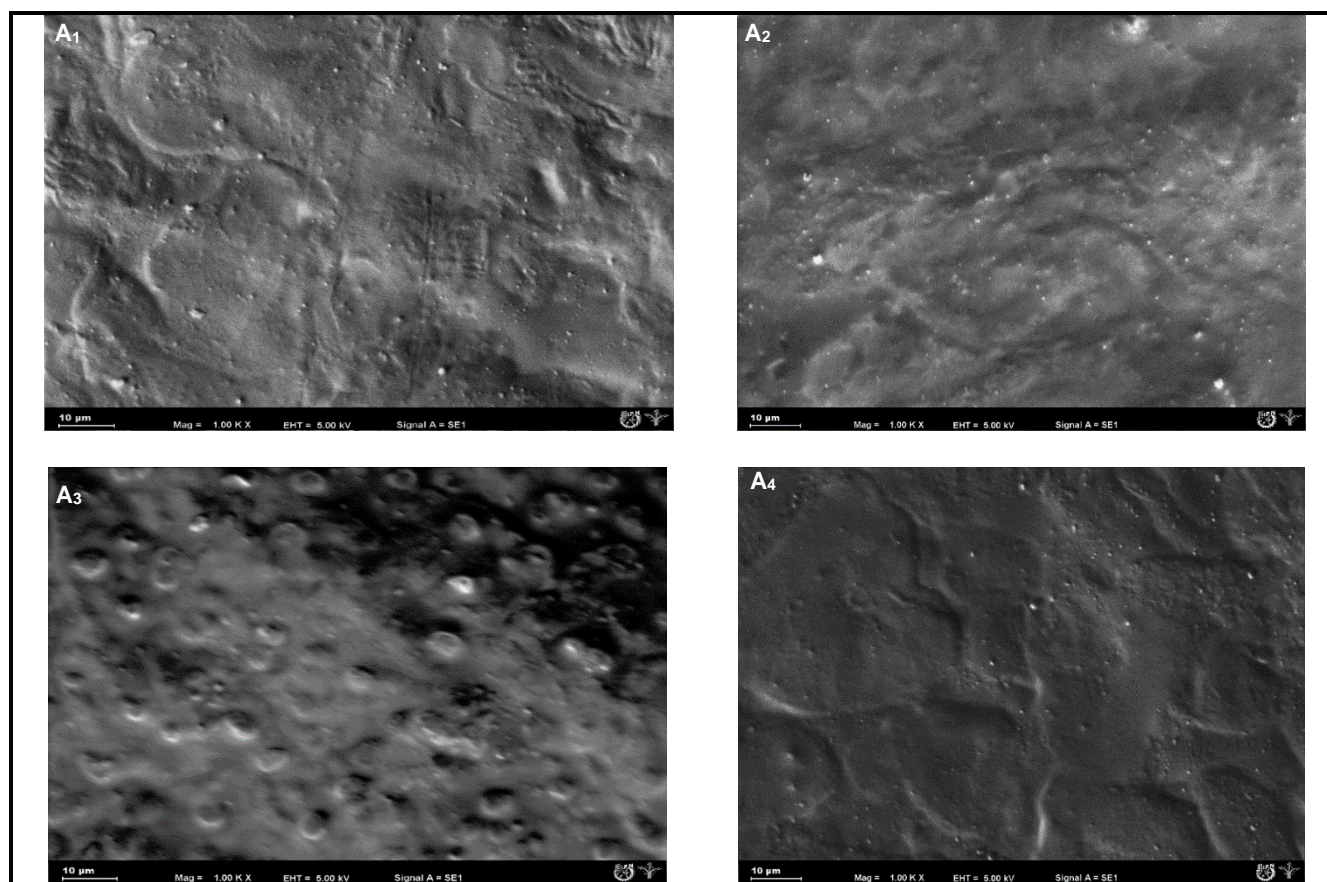


Figura 2. Fotomicrografías de las películas a partir de biopolímeros (1000X).

Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Los valores de permeabilidad al vapor de agua de las películas oscilaron entre 2.99×10^{-11} y $4.01 \times 10^{-11} \text{ g Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$, estos valores son de un orden de magnitud mayor que lo que presentó la muestra control de polímero sintético, de $6.97 \times 10^{-12} \text{ g Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (Tabla 1). Esto principalmente porque el LDPE es un polímero con muy poca absorción a la humedad, situación contraria en el caso del material a partir de biopolímeros debido a que su alta naturaleza hidrofílica constituyen una pobre barrera a la humedad [18], en comparación con los materiales sintéticos.

Tabla 1. Permeabilidad al vapor de agua de películas elaboradas con almidón (papa blanca y papa aérea) en mezcla con gelatina, así como la película de material sintético (LPDE).

Muestra	PVA $\text{g Pa}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$
LPDE	6.97×10^{-12}
A ₁	3.97×10^{-11}
A ₂	2.99×10^{-11}
A ₃	4.01×10^{-11}
A ₄	3.11×10^{-11}

Por otro lado, a pesar del incremento de la PVA en películas de biopolímeros adicionadas con aceite de canela, se mejora la permeabilidad al vapor de agua como resultado de las interacciones hidrofóbicas. Además, se controla la transferencia de humedad desde el producto al medio ambiente, por lo que se busca que sea lo más lento posible [18].

Pruebas del material biodegradable con producto cárnico

El material cárnico se colocó dentro de las bolsas que fueron mantenidas en refrigeración durante 21 días para observar el posible deterioro del alimento, así como si existe presencia y crecimiento de microorganismos en la parte superficial del producto cárnico. De acuerdo con lo mostrado en las Figura 3 y 4, todas las muestras a partir de biopolímeros (A₁, A₂, A₃ y A₄) así como la muestra control, se puede apreciar que en los primeros 5 días de almacenamiento en refrigeración (4 °C) no se mostraron cambios aparentes en el producto cárnico. Sin embargo, en el sexto día los productos cárnicos empezaron a mostrar una reducción de tamaño; posiblemente por la pérdida de agua del producto y que se ve reflejado con los valores de permeabilidad al vapor de agua que provoca que los gases busquen atravesar la pared de las películas del interior hacia el exterior de la película.

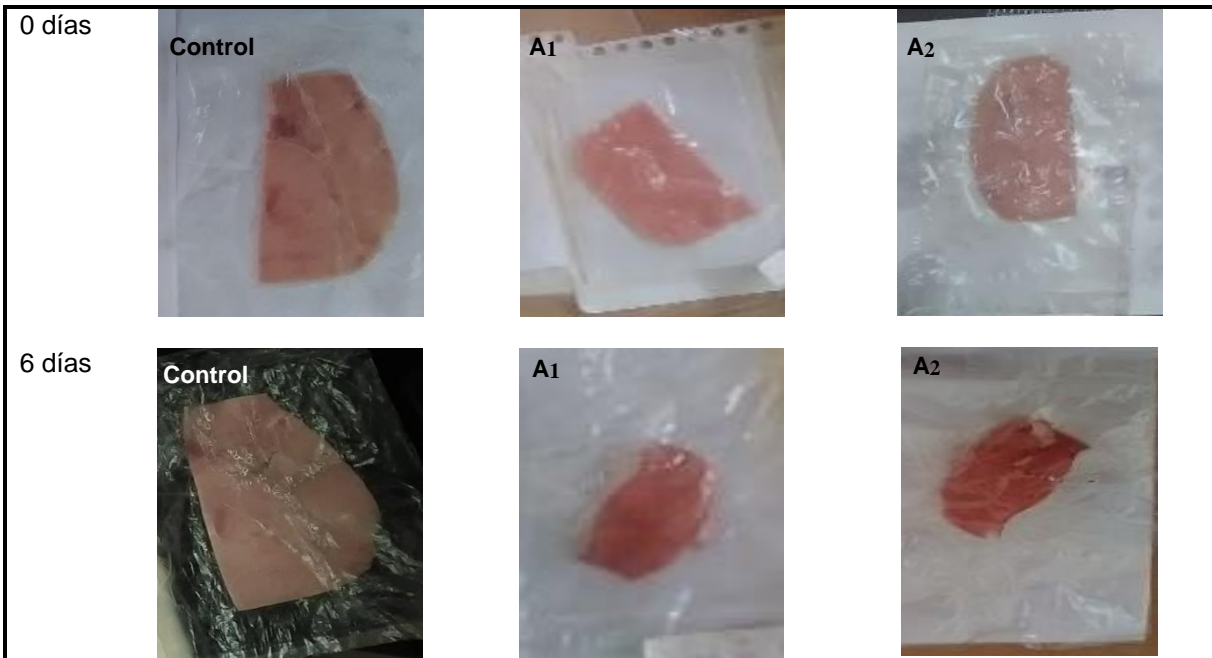


Figura 3. Muestras de material cárnico en bolsas de material biodegradable (A₁, A₂) y sintético (control), mantenidas en refrigeración de 0 a 6 días.

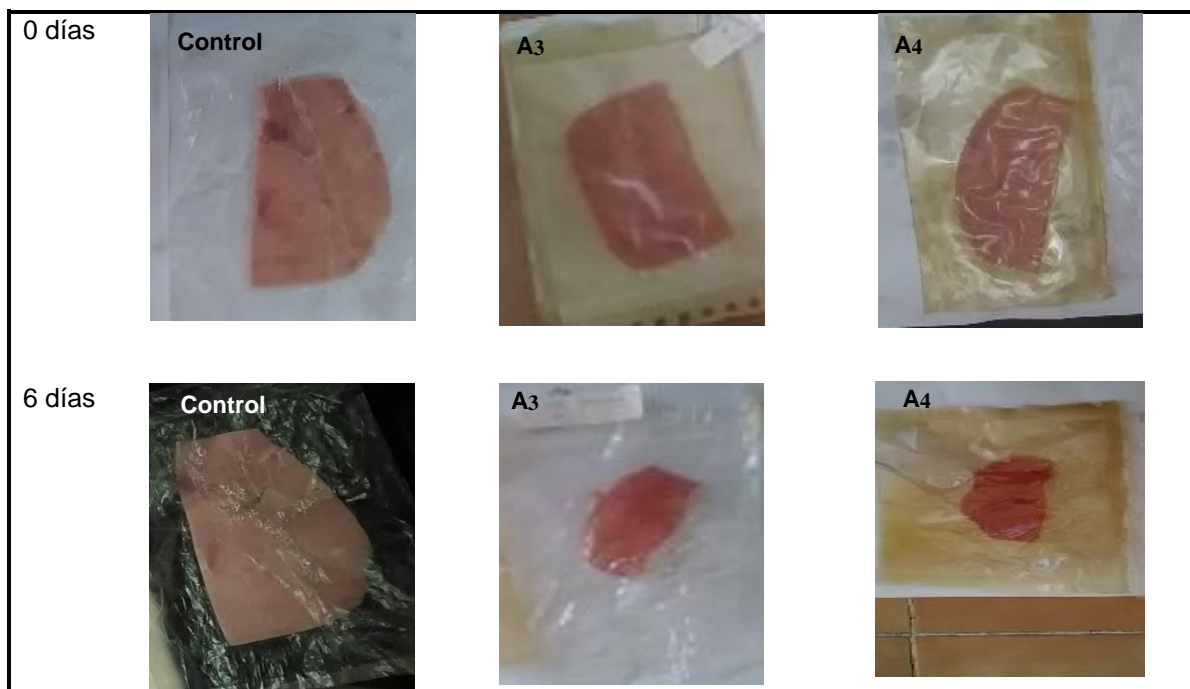


Figura 4. Muestras de material cárnico en bolsas de material biodegradable (A₃, A₄) y sintético (control), mantenidas en refrigeración de 0 a 6 días.

Durante los subsecuentes días de almacenamiento (7 a 21 días) el producto cárnico de las bolsas de material biodegradable como sintético continuó disminuyendo su tamaño (Figura 5 y 6), la muestra control mantuvo su forma.

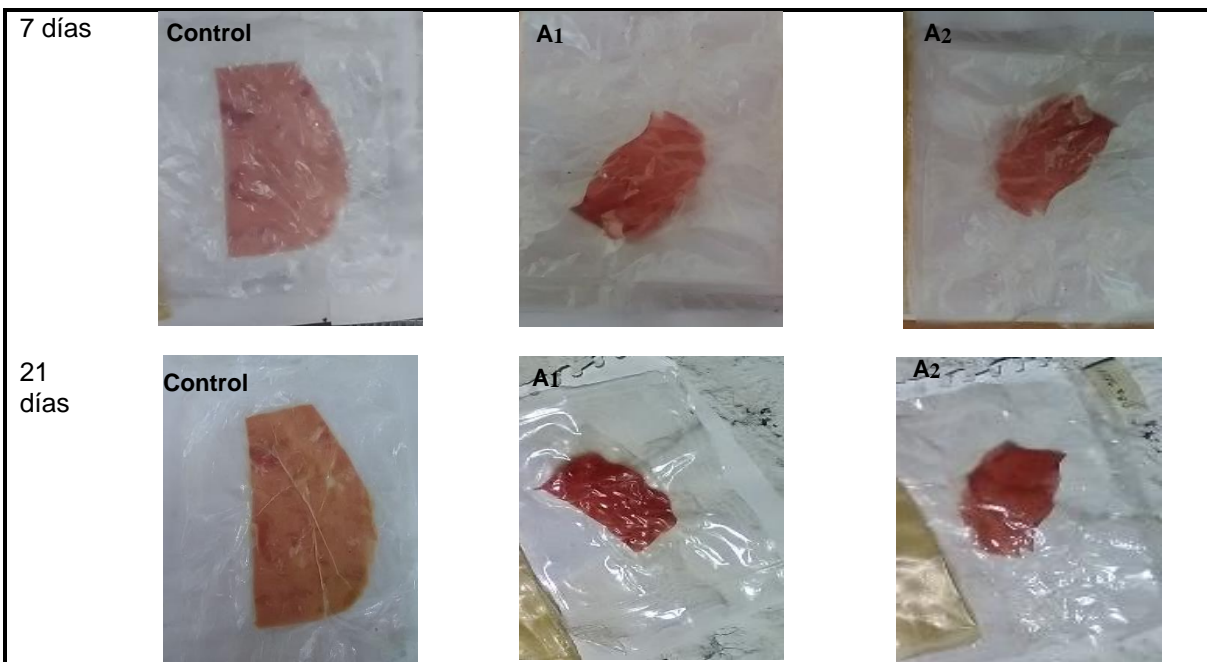


Figura 5. Muestras de material cárnico en bolsas de material biodegradable (A1, A2) y sintético (control), mantenidas en refrigeración de 7 a 15 días.

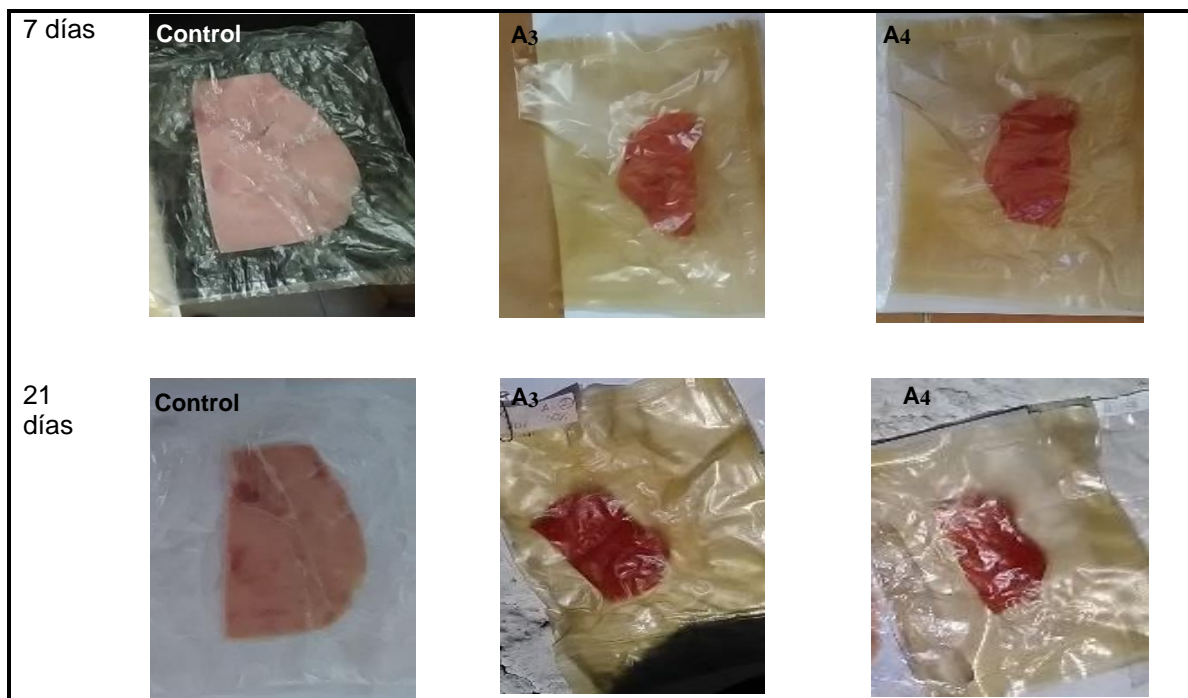


Figura 6. Muestras de material cárnico en bolsas de material biodegradable (A3, A4) y sintético (control), mantenidas en refrigeración de 7 a 15 días.

A partir del día 17 de almacenamiento, el material cárnico de la bolsa control presentó olores fétidos, lo cual indicaba que existió crecimiento de microorganismos; situación que no se presentó en las muestras con material biodegradable lo cual se atribuye a la adición de aceite esencial que permite inhibir el crecimiento microbiano.

Trabajo a futuro

Ante la paulatina dependencia de los materiales plásticos como un artículo de uso diario y, un rápido aumento en su producción y posterior eliminación, las implicaciones medioambientales son una preocupación creciente. Si bien los resultados de este trabajo se consideran de importancia en el uso de materiales biodegradables, es necesario que, para mejorar la permeabilidad al vapor de agua de este material, se deban diseñar películas con mezclas de diferentes componentes como lípidos, resinas y ácidos grasos, así como realizar trabajos sobre barrera de gases frente al oxígeno y el dióxido de carbono.

Conclusiones

Se logró obtener películas a base de almidón de papa blanca, papa aérea y gelatina que se espera funcionen sin alterar la percepción sensorial y sus propiedades de barrera; aunado a que al proceder de productos naturales permite ayudar tanto a la seguridad alimentaria como a la contaminación medioambiental además que pudieran constituir una alternativa viable en el sector agroalimentario. Mediante la Microscopía Electrónica de Barrido se logró observar que la morfología de las películas presenta una buena cohesión ya que no presentaron perforaciones ni fracturas. Los valores de permeabilidad al vapor de agua de las películas a base de almidón y gelatina, indica que resulta ser un material importante ya que es impermeable al agua con lo cual el alimento se favorecería al poseer una considerable vida de anaquel.

Agradecimientos

Deseamos agradecer el apoyo financiero del Proyecto SIP20201464, así como el apoyo brindado por medio de Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI) ambos de la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional (SIP-IPN).

Referencias

- [1] R. Geyer, J. R. Jambeck, and K. L. Law, "Production, use and fate of all plastics ever made", *Science Advances*, vol. 4, no. 7, pp. e1700782, 2017.
- [2] C. K. Farhod, and K. B. Mohammed, "Prediction of the behavior for polymer blends using thermodynamic model", *Recent Advances in Petrochemical Science*, vol. 6, no.5, pp.141-148, 2018.
- [3] F. Morro, F. Catalina, and E. Sanchez-Léon, "Photodegradation and biodegradatiob under Thermophile conditions of mulching films based on poly(butylene adipate-co-terephthalate) ans its blend with poly(lactic acid)", *Journal of Polymers and the environment*, vol 27, no. 2, pp. 352-363, 2019.
- [4] M. A. Lorenzo-Santiago, and R. Rendón-Villalobos, "Isolation and characterization of micro cellulose obtained from waste mango", *Polímeros*, vol. 30, no. 3, pp. e2020036, 2020.
- [5] S. M. Emadian, T. T. Onay, and B. Demirel,"Biodegradations of bioplastics in natural environments", *Waste Management*", vol. 59, pp. 526-526, 2017.
- [6] T. Jiang ,Q. Duan, J. Zhu, H. Liu, and L. Yu, "Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities", *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, vol. 3, no. 1, pp. 8-18, 2020.
- [7] UN environment programme,"Plastic recycling: an underperforming sector ripe for a remake", 2019.
- [8] Chandani, S. and Madhusweta, D, "Biodegradability os starch based self-supporting antimicrobial films and its effect on soil quality", *Journal of Polymers and the Environment*, vol 26, no.12, pp. 4331-4337, 2018.
- [9] C. Menzel, "Improvement of starch films for food packaging through a three-principle approach: Antioxidants, cross-linking and reinforcement", *Carbohydrate Polymers*, vol. 250, pp. 116828, 2020
- [10] M. Brebu, "Environmental degradation of plastics composites with natural fillers – A review". *Polymers*, vol.12, no. 1, pp. 166, 2020.
- [11] T. Bupachat, N. Sombatsompop, and B. Prapagdee, "Isolation and role of polylactic acid-degrading bacteria on degrading enzymes productions and PLA biodegradability at mesophilic conditions", *Polymer Degradation and Stability*, vol.152, pp. 75-85, 2018.

- [12] S.Temesgen, M. Rennert, T.Tesfaye, and M. Nase, "Review on Spinning of Biopolymer Fibers from Starch", *Polymers*, vol. 13, article 1121, 2021.
- [13] J. R. Dias, S. Baptista-Silva, C. M. T. de Oliveira, A. Sousa, A. L. Oliveira, P. J. Bartolo, and P. L. Granja, "In situ crosslinked electrospun gelatin nano fibers for skin regeneration", *European Polymer Journal*, vol. 95, pp.161-173, 2017.
- [14] A. Podshivalov, M. Zakharova, E. Glazacheva, and M. Uspenskaya, "Gelatin/potato starch edible biocomposite films: Correlation between morphology and physical properties", *Carbohydrate Polymers*, vol. 157, pp. 1162-1172, 2017.
- [15] J. Singh, N. C. S. Tan, U. R. Mahadevaswamy, N. Chanchareonsook, T. W. J. Steele, and S. Lim, "Bacterial cellulose adhesive composites for oral cavity applications", *Carbohydrate Polymers*, vol. 274, article 118403, 2021.
- [16] ASTM, American Society for Testing and Materials, "*Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Organic Coating Films*", Method D1653-13, 2021.
- [17] B. Sigala, "Obtención de almidones de papa (*Solanum tuberosum*) pregelatinizados usando calentamiento óhmico", Tesis de Licenciatura.Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro. 73 p.
- [18] Y. Mederos-Torres, P. Bernabé-Galloway, and M. A. Ramírez-Arrebato, "Películas basadas en polisacáridos como recubrimientos biodegradables y su empleo en la postcosecha de los frutos", *Cultivos Tropicales*, vol. 41, no. 3, e09, 2020.

Comparativo de estructuras productivas exergoeconómicas aplicadas a sistemas de refrigeración por compresión de vapor simple

R. M. Suarez-Aquino^{1**}, W. C. Bonilla-Blancas¹, M. B. Arce-Vazquez¹, R. Lugo-Leyte², M. Salazar-Pereyra^{1*}
¹División de Ingeniería Mecánica, Mecatrónica e Industrial, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Av. Tecnológico S/N, Ecatepec de Morelos, Estado de México.

*msalazar@tese.edu.mx, ** Catedra COMECYT

²Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa. Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica. Av. San Rafael Atlixco No. 186, Col. Vicentina, 09340, Iztapalapa, CDMX, México.

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Este trabajo presenta los criterios para la elección de una estructura productiva de tres casos para realizar un análisis exergoeconómico con base a la Teoría del Costo Exergético para determinar los costos de operación exergéticos y exergoeconómicos del ciclo de refrigeración por compresión mecánica utilizando el refrigerante HFC-134a. Se realiza un estudio energético y exergético para determinar el coeficiente de desempeño, flujos exergéticos y eficiencias exergéticas del ciclo. Con base a los criterios y resultados obtenidos, la estructura productiva del caso dos, donde el condensador se considera como un componente productivo y el calor absorbido del recinto frigorífico se contempló como recurso del evaporador, está estructura es la idónea para aplicarla a estos sistemas de refrigeración y extrapolarla a sus diferentes configuraciones.

Palabras clave: Análisis exergoeconómico; costos de operación; estructura productiva; ciclos de refrigeración.

Abstract

This paper presents the criteria for choosing a productive structure of three cases to perform an exergoeconomic analysis based on the Exergetic Cost Theory to determine the exergetic and exergoeconomic operating costs of the mechanical compression refrigeration cycle using the HFC-134a refrigerant. An energy and exergetic study is carried out to determine the performance coefficient, exergetic flows and exergetic efficiencies of the cycle. Based on the criteria and results obtained, the productive structure of case two, where the condenser is considered as a productive component and the heat absorbed from the refrigeration area is considered as a resource of the evaporator, this structure is the ideal one to apply to these cooling systems. refrigeration and extrapolate it to its different configurations.

Key words: Exergoeconomic analysis; operations cost; productive structure; refrigeration cycle

Introducción

Los equipos de refrigeración son sistemas que tienen diferentes aplicaciones en los sectores domésticos, industriales, transporte y aire acondicionado. Estos sistemas tienen un gran consumo de energía eléctrica, por esa razón tiene una enorme relevancia el estudio de estos equipos para la mejora, optimización y/o diseño, y así obtener mayores coeficientes de desempeño y mínimos consumos de potencia.

Al establecer un análisis energético para este tipo de sistemas se determina el consumo de potencia, las cargas térmicas, el coeficiente de desempeño, sin embargo, este análisis no determina las irreversibilidades que existen en el sistema, el cual es el tema de interés, ya que al determinar en donde se generan dichas irreversibilidades se podrán cuantificar de manera monetarias y realizar las mejoras necesarias.

Con un estudio exergético se pueden localizar las irreversibilidades que se generan en el sistema, así mismo, se pueden determinar las corrientes y eficiencias exergéticas de cada componente y del ciclo. Si bien, un estudio exergético es una gran herramienta para el estudio de estos sistemas térmicos, no pueden cuantificar de manera monetaria el costo que generan las irreversibilidades. Sin embargo, se aplica una herramienta de mucha ayuda para la predicción, optimización, diseño y evaluación de los sistemas térmicos, la termoeconomía. La termoeconomía se puede considerar una ciencia nueva que conecta la termodinámica y la economía, proporciona

herramientas para resolver en sistemas térmicos complejos difícil de resolver utilizando técnicas convencionales de análisis de energía.

Los principales campos de aplicación de estos desarrollos se encuentran principalmente en el área de las grandes centrales de cogeneración, ciclos combinados, generación de potencia, plantas químicas, etc., mientras que en el dominio de la refrigeración y aire acondicionado son limitados.

Misra et al, Tsatsaronis y Pisa [1, 2], utilizan una técnica iterativa de mejora del rendimiento termoeconómico donde un analizador puede participar en la elección de criterios en el proceso de optimización. Valero y colaboradores utilizan el concepto de Teoría del Costo Exergético, Torres y Valero [3], el cual consiste asignar un costo a cada flujo de exergía y la mejora del rendimiento termoeconómico del sistema se realiza mediante la optimización local de los subsistemas, Frangapoulos [4], han utilizado la descomposición funcional del sistema en la optimización termoeconómica de los sistemas. Ellos representan adecuadamente las diferentes direcciones del desarrollo de la termoeconomía. Sin embargo, existen pocos trabajos en la literatura científica que aplica este análisis termoeconómico a estos sistemas.

Misra et al [1], aplicó un estudio termoeconómico a un sistema de refrigeración por absorción de vapor de agua y amoníaco, la metodología que utiliza se basa en la minimización de costos, donde, se calculan los costos económicos de todos los flujos y productos internos del sistema mediante la formulación de balances de costos termoeconómicos. La optimización del sistema se lleva a cabo mediante un procedimiento iterativo.

d' Accadia y de Rossi [5], aplica la optimización económica de una planta de refrigeración convencional donde emplea la Teoría de los costos exergéticos [3] para evaluar los costos de los flujos y productos internas del sistema, además, se propone una estructura productiva, donde se muestra el recurso, producto o residuo de cada componente del sistema (flujos exergéticos) y el propósito principal del sistema. De igual modo se plantea el concepto de negentropía para la formulación del balance de costos.

Piacentino y Talamo [6], publicaron un estudio cuyo objetivo era aplicar el enfoque termoeconómico de una manera convencional, basado en la división de la exergía física en sus componentes térmicos y mecánicos para diagnosticar un sistema simple de refrigeración por compresión de vapor.

Hernández-Mora et al [7], plantean una estructura productiva para obtener un modelo matemático de los costos con y sin imputación del residuo a los equipos, en donde, los resultados presentan un aumento de 56.8 % de aumento cuando se le imputa el residuo.

Bonilla-Blancas et al [8], realizan un estudio exergoeconómico a un sistema de refrigeración por compresión mecánica utilizando CO₂ transcrito, en el cual establecen la presión de descarga del compresor en función de la temperatura del enfriador, cuando está funcionando a las temperaturas ambientales mayores a 20 °C. También se muestra el efecto de variar la temperatura de la cámara fría. En el análisis, se obtienen coeficiente de desempeño (COP), el rendimiento exergético, así como los costos de operación de cada equipo del ciclo.

Lugo et al [9], realizaron un análisis exergoeconómico, donde se realizó una estructura productiva de los componentes del ciclo, obteniendo las corrientes exergéticas que actúan como productos y/o recursos de cada equipo, con base a estos, se evaluaron los costos de operación exergéticos y exergoeconómicos en función de la temperatura ambiental y frigorífica.

Aunque existen en la literatura científica, trabajos de investigación que establecen un análisis termoeconómico de los sistemas de refrigeración, cada trabajo tiene un enfoque diferente y por consiguiente, muestran resultados diferentes, esto se debe a que este tipo de análisis (exergoeconómico) se emplean generalmente para sistemas de generación de potencia, los cuales tienen estructuras rígidas, es decir, cada uno de sus componentes tienen un propósito bien definido, y sin embargo, por lo general, este tipo de estudio no es aplicado a sistemas consumidores de potencia. Por tal motivo, se comparan tres casos de estructuras productivas exergoeconómicas, Hernández-Mora et al, Bonilla-Blancas et al y Lugo et al [7, 8, 9], para determinar una estructura general que se pueda aplicar a los ciclos de refrigeración.

Metodología

La metodología se presenta en tres secciones: en una se determinan las expresiones más significativas del ciclo con base a un análisis energético y exergético; en otra sección se describen los parámetros para obtener los costos de operación exergéticos y exergoeconómicos; y en la última sección se describen los tres casos de estructuras productivas.

Análisis de la Primera y Segunda Ley de la Termodinámica

El ciclo de refrigeración está compuesto por tres equipos y un dispositivo: compresor, condensador, evaporador y la válvula de estrangulamiento. De igual modo, se observa un motor eléctrico, pero, por lo general este equipo viene integrado al compresor, sin embargo, en la imagen se coloca por separado para su respectivo análisis, Fig. 1.

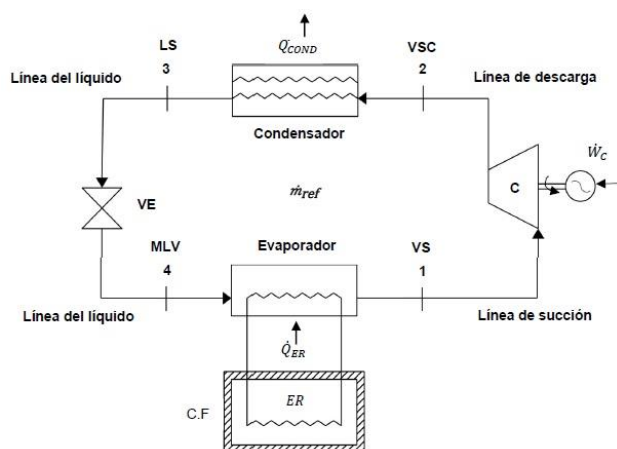


Fig. 1: Ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

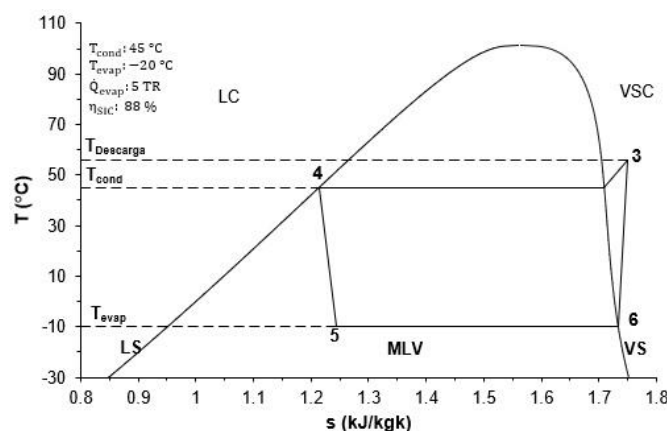


Fig. 2: Diagrama Temperatura-entropía.

En la Fig. 2 se describen los procesos del ciclo de refrigeración sin considerar las caídas de presión y las fricciones que se generan en el sistema. A la entrada del compresor, Estado 3, el refrigerante se encuentra como vapor saturado seco o sobrecalentado; ingresa al compresor donde el refrigerante se comprime de manera adiabática, donde la presión aumenta hasta la presión del condensador, ocurre lo mismo con la temperatura, el refrigerante se encuentra como vapor sobrecalentado, Estado 4. El refrigerante entra al condensador donde se rechaza el calor a presión constante y ocurre un cambio de fase, el fluido de trabajo sale del condensador como líquido saturado o líquido comprimido, Estado 5, posteriormente, el refrigerante entra a la válvula de estrangulamiento donde la temperatura y la presión disminuye antes de ingresar al evaporador, Estado 6, este proceso se realiza a entalpía constante. En el Estado 6, el refrigerante se encuentra como vapor húmedo y por consiguiente tiene una calidad. Al entrar al evaporador, el fluido de trabajo absorbe el calor de la cámara frigorífica a temperatura constante, la mezcla se evapora hasta que cambia a líquido saturado seco o sobrecalentado, Estado 6, el refrigerante entra al compresor y de esta manera se completa el ciclo.

Las expresiones más significativas del ciclo de refrigeración con base a un análisis energético se establecen en la Tabla 1.

Tabla 1: Balance de energía y masa del CRCS.

Potencia suministrada al compresor
$\dot{W}_{comp} = \frac{\dot{m}_{ref}(h_4 - h_3)}{\eta_{mec}}$
Efecto frigorífico del evaporador
$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{ref}(h_3 - h_6)$
Coefficiente de desempeño
$COP = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{comp}}$
Flujo másico del evaporador de alta temperatura
$\dot{m}_{ref} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{(h_3 - h_6)}$

La ecuación (1) representa el flujo de exergía de los estados termodinámico del ciclo.

$$\dot{\mathcal{E}}_i = \dot{m}_{\text{ref}}[(\mathbf{h}_i - \mathbf{h}_0) - T_0(s_i - s_0)] \quad (1)$$

Con base al análisis exergético se determinan los flujos exergéticos, sin embargo, el flujo exergético del calor rechazado se expresa de dos maneras como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2: Balance exergético del CRCS.

Motor eléctrico
$\dot{\mathcal{E}}_1 = \frac{\dot{m}_{\text{ref}}(\mathbf{h}_4 - \mathbf{h}_3)}{\eta_{\text{mec}}\eta_{\text{ele}}}$
Compresor
$\dot{\mathcal{E}}_2 = \frac{\dot{m}_{\text{ref}}(\mathbf{h}_4 - \mathbf{h}_3)}{\eta_{\text{mec}}}$
Condensador
$\dot{\mathcal{E}}_7 = \dot{Q}_{\text{cond}} \left(1 - \frac{T_0}{T_4} \right)$
Condensador
$\dot{\mathcal{E}}_7 = \dot{Q}_{\text{cond}} \left(1 - \frac{T_0}{\frac{\mathbf{h}_4 - \mathbf{h}_5}{s_4 - s_5}} \right)$
Evaporador
$\dot{\mathcal{E}}_8 = -\dot{Q}_{\text{evap}} \left(1 - \frac{T_0}{T_6} \right)$

Para determinar el flujo exergético del calor rechazado, en una expresión de se utiliza el factor de Carnot, y esta ecuación se emplea para la estructura productiva donde el condensador se considera como un componente productivo, y la expresión distinta se determina con el factor de Gouy-Stodola, el cual indica la temperatura promedio en un dispositivo térmico.

La eficiencia exergética del CRCS es la relación entre el producto de deseado (calor retirado del recinto) y el recurso requerido (energía eléctrica)

$$\eta_{\text{exeCR}} = \frac{\dot{\mathcal{E}}_8}{\dot{\mathcal{E}}_1} \quad (2)$$

Análisis termoeconómico del sistema de refrigeración

Teoría del Costo Exergético, Torres y Valero [3], es un estudio termoeconómico del CRCS, en donde, se determina el recurso, producto y/o residuo del ciclo y de cada uno de sus componentes y de esta manera se aplica un estudio exergoeconómico donde se definen los costos exergéticos y exergoeconómicos.

El costo exergético unitario es la relación que hay entre el costo exergético y el flujo de exergía y se escribe de la siguiente manera:

$$k^* = \frac{E^*}{\dot{\mathcal{E}}} \quad (3)$$

Los costos exergéticos unitarios de las corrientes, es el costo unitario k^*_F , es el costo unitario del recurso de cada equipo.

El producto que existe entre los costos unitario exergético y la irreversibilidad de cada equipo son costos de operación exergéticos

$$COE = k^*_F \dot{I} \quad (4)$$

Los costos de operación exergoeconómicos generados por cada equipo se expresa de la siguiente manera:

$$COEE = c_{Fi}(\dot{F}_i - \dot{P}_i) \quad (5)$$

Descripción de las estructuras productivas

La estructura productiva es una serie de bloques que representa los componentes que conforman un sistema térmico, en ella se muestran los recursos, productos y/o residuo que componen cada componente y el sistema completo. En la Fig. 3, se muestran los tres casos, Hernández-Mora et al, Bonilla-Blancas et al y Lugo et al, [7, 8, 9] que se analizan.

Para los tres casos, el motor eléctrico y el compresor tienen el mismo recurso y producto. En el motor eléctrico, el flujo de exergía 1 es el recurso, el cual proviene de la energía eléctrica, recurso principal del sistema y el producto es flujo de exergía 2, el cual es el recurso del compresor, mientras que, el producto de este componente es el aumento exergético por la diferencia de 3 a 4 que sucede en el proceso de compresión.

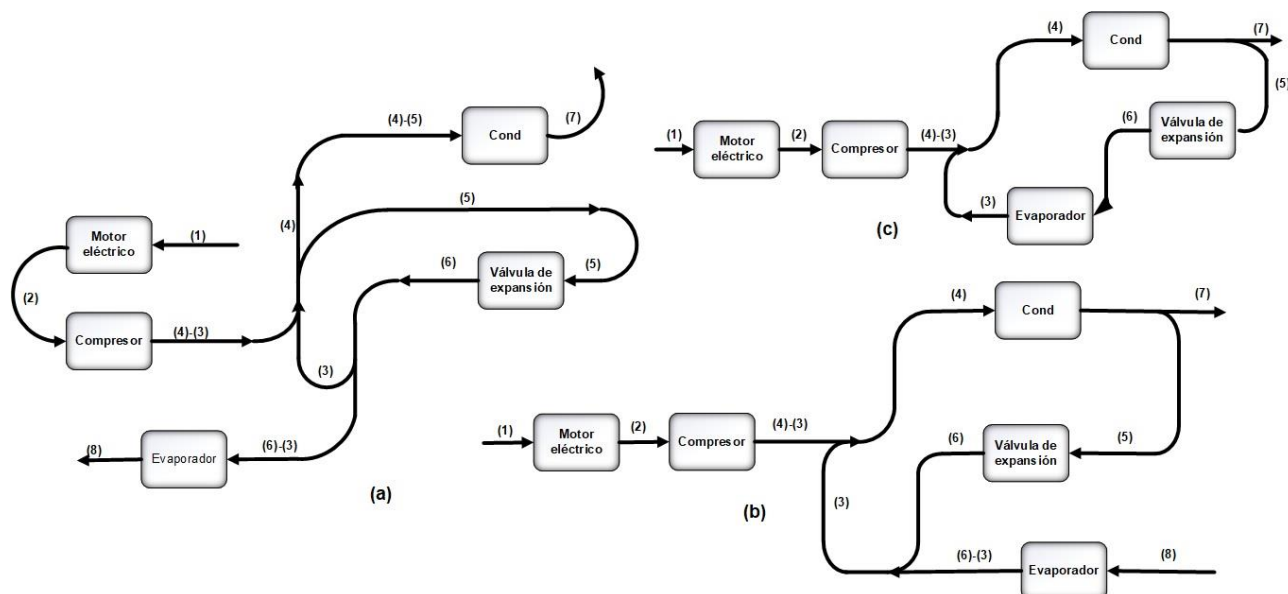


Fig. 3: Estructuras productivas de los casos del CRCS

En la Fig. 3 (a) se muestra la estructura del caso 1. En el condensador, el recurso es la diferencia entre las corrientes 4 y 5 y su resultado es el flujo de exergía 7, esta corriente representa el residuo total del sistema, así mismo, la corriente exergética 5 es producto del condensador, igualmente, es recurso de la válvula de expansión, el producto de este componente es el flujo de exergía 6. La corriente exergética que ingresa a el evaporador es la diferencia de exergía que ocurre en el proceso de evaporación, mientras tanto, su producto es el flujo de exergía 7, este flujo de exergía es el fin productivo del ciclo. En esta estructura, el condensador se considera como un componente disipativo porque no produce algún producto funcional que se desempeñe como recurso de otro componente. Se puede interpretar la estructura tiene dos productos, la producción de frío y el calor desechado.

En la Fig. 3 (b) se presenta la estructura productiva del Caso 2. En el condensador, el recurso es el flujo de exergía 4 y se tiene dos productos, el primero es el flujo que continua en el sistema y sirve como recurso para la válvula de estrangulamiento, corriente 5, el segundo es el flujo de corriente 7 que se contempla como el residuo que genera todo el sistema que es el calor retirado y que no aporta nada en la remoción de calor del recinto, este se considera una irreversibilidad del componente. Para el componente del evaporador, su recurso es el flujo 8, que es el calor retirado de la cámara frigorífica, también se considera como un recurso para todo el sistema y este no tiene ningún costo ya que es parte de la carga térmica. Por otra parte, el producto del evaporador es la diferencia de corrientes de 6 y 3 que se origina por el proceso de evaporización. En esta configuración de la estructura productiva, el condensador se considera como un componente productivo, debido a que, uno de sus productos es funcional porque sirve como recurso para otro dispositivo.

La Fig. 3 (c) es la estructura productiva del caso 3. El recurso del es el flujo de exergía 4, los productos son el flujo de corriente 5 que actúa como el recurso de la válvula, la corriente exergética 7, es flujo de calor que retira del sistema, esta corriente se contempla como el residuo del sistema. El producto de la válvula es el flujo exergético 6, el cual también es el recurso del evaporador. Mientras tanto el producto de este equipo es el flujo 3, dicha corriente interactúa con el producto del compresor. Esta estructura productiva fue propuesta para un ciclo de refrigeración por compresión mecánica que utiliza CO₂. Esta estructura no contempla el flujo exergético 8 que proviene del retiro de la carga térmica del recinto frigorífico, por lo tanto, el arreglo no tiene validez para este tipo de ciclos de refrigeración debido a que, este flujo es el propósito principal del sistema.

Para este análisis se tiene en consideración el precio de la potencia eléctrica por cada $kW-h$ es de $\$0.793$ ($0.0002203 \text{ \$/kJ}$) CFE [11]. El valor del costo unitario de la corriente de calor que se retira del recinto frigorífico es igual a cero, debido a que es el calor que se retira no tiene costo puesto que es el calor que tiene el recinto. Además, el estudio se realizó con base a los siguientes parámetros: T_{amb} : $30^\circ C$, TCF : $-10^\circ C$, η_{sic} : 88% , η_{mec} : 98% , η_{ele} : 90% , TR : 5 .

Con base a la Teoría del Costo Exergético, se define el propósito, recurso, productos, residuos y/o perdidas de cada componente del sistema en análisis para elaborar una estructura productiva de la cual se obtiene un balance de costos exergéticos y exergoeconómicos, en donde, se plantea un sistema de ecuaciones en el que se resuelve con matriz característica, donde \vec{E}^* es el vector de los costos exergéticos y \vec{b}_1 es el resultado del vector de los flujos exergía, $\vec{\Pi}$ es el vector de los costos exergoeconómicos y \vec{b}_2 es el vector del resultante que contiene el precio del recurso primario [9].

A continuación, se muestra la matriz característica y los vectores para determinar los costos exergéticos y exergoeconómicos.

Se tiene una matriz característica de 8 por 8 para el Caso 1.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \dot{\mathcal{E}}_6 & 0 & 0 & -\dot{\mathcal{E}}_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dot{\mathcal{E}}_5 & -\dot{\mathcal{E}}_4 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \vec{E}^* = \begin{pmatrix} E_1^* \\ E_2^* \\ E_3^* \\ E_4^* \\ E_5^* \\ E_6^* \\ E_7^* \\ E_8^* \end{pmatrix}, \vec{b}_1 = \begin{pmatrix} \dot{\mathcal{E}}_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \vec{\Pi} = \begin{pmatrix} \Pi_1 \\ \Pi_2 \\ \Pi_3 \\ \Pi_4 \\ \Pi_5 \\ \Pi_6 \\ \Pi_7 \\ \Pi_8 \end{pmatrix}, \vec{b}_2 = \begin{pmatrix} c_f \dot{\mathcal{E}}_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

En el Caso 2 se tiene una matriz característica de 8 por 8.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dot{\mathcal{E}}_7 & 0 & -\dot{\mathcal{E}}_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \vec{E}^* = \begin{pmatrix} E_1^* \\ E_2^* \\ E_3^* \\ E_4^* \\ E_5^* \\ E_6^* \\ E_7^* \\ E_8^* \end{pmatrix}, \vec{b}_1 = \begin{pmatrix} \dot{\mathcal{E}}_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \vec{\Pi} = \begin{pmatrix} \Pi_1 \\ \Pi_2 \\ \Pi_3 \\ \Pi_4 \\ \Pi_5 \\ \Pi_6 \\ \Pi_7 \\ \Pi_8 \end{pmatrix}, \vec{b}_2 = \begin{pmatrix} c_f \dot{\mathcal{E}}_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Se obtuvo una matriz característica de 7 por 7 para el caso 3, dado que, en esta configuración no se contempla el flujo exergético 8.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dot{\mathcal{E}}_7 & 0 & -\dot{\mathcal{E}}_5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \vec{E}^* = \begin{pmatrix} E_1^* \\ E_2^* \\ E_3^* \\ E_5^* \\ E_6^* \\ E_7^* \\ E_8^* \end{pmatrix}, \vec{b}_1 = \begin{pmatrix} \dot{\mathcal{E}}_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \vec{\Pi} = \begin{pmatrix} \Pi_1 \\ \Pi_2 \\ \Pi_3 \\ \Pi_4 \\ \Pi_6 \\ \Pi_7 \\ \Pi_8 \end{pmatrix}, \vec{b}_2 = \begin{pmatrix} c_f \dot{\mathcal{E}}_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

A partir de la preposiciones del modelo Recurso-Producto se estableció el modelo matemático para obtener los costos exergéticos y exergoeconómico y se exponen en las siguientes tablas.

Tabla 3: Ecuaciones de costos exergéticos y exergoeconómicos del Caso 1.

Equipo	Costos exergéticos	Costos exergoeconómicos
Entrada al motor eléctrico	$E_1^* = \dot{E}_1$	$\Pi_1 = c_f \dot{E}_1$
Motor eléctrico	$E_1^* = E_2^*$	$\Pi_1 = \Pi_2$
Compresor	$E_2^* = E_4^* - E_3^*$	$\Pi_2 = \Pi_4 - \Pi_3$
Condensador	$E_4^* = E_5^* - E_7^*$	$\Pi_7 = \Pi_4 - \Pi_5$
Válvula de expansión	$E_5^* = E_6^*$	$\Pi_5 = \Pi_6$
Evaporador	$E_8^* = E_6^* - E_3^*$	$\Pi_8 = \Pi_6 - \Pi_3$
Nodos	$E_3^* \dot{E}_6 = E_6^* \dot{E}_3$	$\Pi_3 \dot{E}_6 = \Pi_6 \dot{E}_3$
	$E_4^* \dot{E}_5 = E_5^* \dot{E}_4$	$\Pi_4 \dot{E}_5 = \Pi_5 \dot{E}_4$

Tabla 4: Ecuaciones de costos exergéticos y exergoeconómicos del Caso 2.

Equipo	Costos exergéticos	Costos exergoeconómicos
Entrada al motor eléctrico	$E_1^* = \dot{E}_1$	$\Pi_1 = c_f \dot{E}_1$
Motor eléctrico	$E_1^* = E_2^*$	$\Pi_1 = \Pi_2$
Compresor	$E_2^* = E_4^* - E_3^*$	$\Pi_2 = \Pi_4 - \Pi_3$
Condensador	$E_4^* = E_5^* + E_7^*$	$\Pi_4 = \Pi_5 + \Pi_7$
	$E_5^* \dot{E}_7 = E_7^* \dot{E}_5$	$\Pi_5 \dot{E}_7 = \Pi_7 \dot{E}_5$
Válvula de expansión	$E_5^* = E_6^*$	$\Pi_5 = \Pi_6$
Entrada al evaporador	$E_8^* = \dot{E}_8$	$\Pi_8 = 0$
Evaporador	$E_8^* = E_6^* - E_3^*$	$\Pi_8 = \Pi_6 - \Pi_3$

Tabla 5: Ecuaciones de costos exergéticos y exergoeconómicos del Caso 3.

Equipo	Costos exergéticos	Costos exergoeconómicos
Entrada al Motor eléctrico	$E_1^* = \dot{E}_1$	$\Pi_1 = c_f \dot{E}_1$
Motor eléctrico	$E_1^* = E_2^*$	$\Pi_1 = \Pi_2$
Compresor	$E_2^* = E_4^* - E_3^*$	$\Pi_2 = \Pi_4 - \Pi_3$
Condensador	$E_4^* = E_5^* + E_7^*$	$\Pi_4 = \Pi_5 + \Pi_7$
	$E_5^* \dot{E}_7 = E_7^* \dot{E}_5$	$\Pi_5 \dot{E}_7 = \Pi_7 \dot{E}_5$
Válvula de expansión	$E_5^* = E_6^*$	$\Pi_5 = \Pi_6$
Evaporador	$E_6^* = E_3^*$	$\Pi_6 = \Pi_3$

El costo de operación exergético indica el costo de las irreversibilidades que genera cada componente del sistema de manera exergética en unidades de potencia eléctrica. Mientras, los costos de operación exergoeconómicos traduce el costo exergético, en unidades monetarias

Resultados

En la Fig. 4 se muestra los costos de cada componente del ciclo. En los tres casos, el motor eléctrico tiene COE y COEE de 0.740 kW y 0.586 \$/h respectivamente. El compresor dispone de un comportamiento análogo al del motor eléctrico en los tres casos, en el cual, los COE y COEE son de 0.933 kW y 0.740 \$/h. Sin embargo, la disparidad entre los casos están los componentes disipativos, condensador y evaporador. En el caso 1, la válvula de expansión genera el 55 % de los costos totales del arreglo del caso 1, el condensador y el evaporador no genero ningún costo debido que se interpretaron como componentes disipativos. En el caso el condensador tiene 15.147 en COEE, 69 % del costo total del sistema. De igual modo, que en el caso 1, el evaporador origina ningún costo. Sin en cambio, en el caso 3, el evaporador genera 36 % y el condensador un 44 % de los COEE total de su caso.

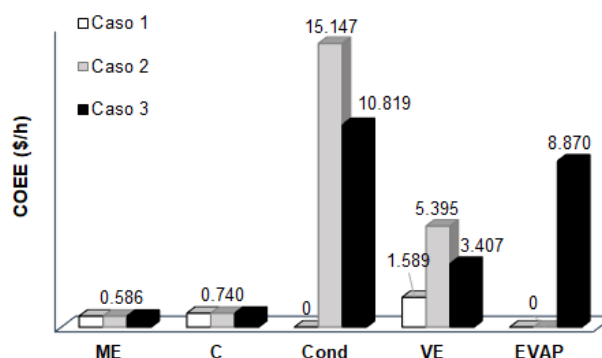


Fig. 4: Costo de operación exergoeconómicos.

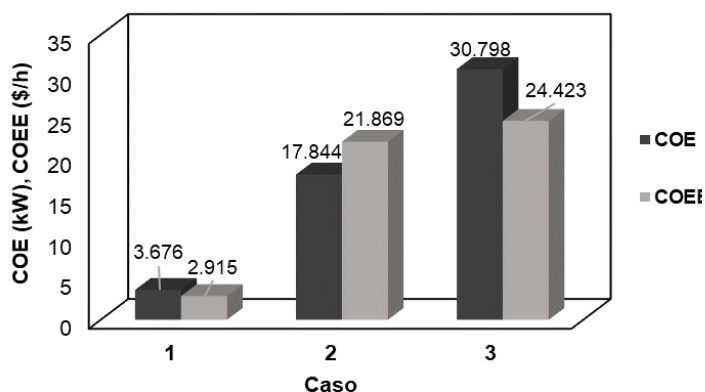


Fig. 5: Costos de operación exergéticos y exergoeconómicos del CRCS.

Los COE y COEE del ciclo completo para cada uno de los casos se muestran en la Fig. 5. El caso 1 produce de costos exergéticos y exergoeconómicos de 3.676 kW y 2.915 \$/h respectivamente. El caso 2 tiene 17.844 kW y 21.869 \$/h de costos exergéticos y exergoeconómicos. Por último, el caso 3, tiene una generación de costos 30.798 kW y 24.423 \$/h. La diferencia en cuanto a los costos que existe entre los tres casos se debe a la interpretación que se les dio a los propósitos, de cada uno de los equipos del ciclo de refrigeración. El caso 1, el condensador se consideró como un componente disipativo, por esta razón, este equipo no generó algún costo y esto se vio reflejado en una disminución significativa en los costos.

Pare el caso 2, el condensador se evalúa como un componente productivo, por consiguiente, la irreversibilidad se interpreta como un residuo y el costo lo adquiere dicho equipo, y esto aumenta los costos de operación para el ciclo. La corriente de exergía 7 es un residuo y afecta al dispositivo que lo genera, en este caso el condensador, la corriente exergética 8, el cual es la transferencia de calor que existe entre el medio frigorífico y el evaporador debe ser un recurso asignado para el evaporador para que realice su función correspondiente.

La diferencia que tiene el caso 3 con respecto al caso es el evaporador, no se toma en cuenta el flujo exergético 8, para este caso no posible considerar esta estructura para los sistemas de refrigeración, debido a que esta corriente exergética el objetivo principal del sistema.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base a los resultados y de la descripción de las estructuras productivas, Fig. 3 se demuestra que la estructura productiva del Caso 2, Fig. 3 (b), es la ideal para los sistemas de refrigeración por compresión mecánica, por los siguientes criterios:

1. La estructura va de acuerdo con la física del sistema.
2. El condensador debe considerarse como un componente productivo porque uno de sus recursos funciona como recurso para la válvula de estrangulación y es donde se generan las mayores irreversibilidades y, por consiguiente, generan COEE.
3. La corriente exergética 8, la cual es la transferencia de calor que existe entre la cámara fría y el evaporador debe considerarse como un recurso y no como un producto, debido a que sin esta corriente el evaporador no tiene un objetivo bien definido.

Análisis paramétrico

Se establece un comportamiento con base a la estructura productiva del caso 2, el cual es la estructura ideal para los sistemas de refinación por compresión de vapor mecánica.

La Fig. 6, muestra la eficiencia exergética en función del COP, donde se modifica tanto, la temperatura ambiental y de la cámara frigorífica. Si se mantiene constante la temperatura frigorífica y la temperatura ambiental aumenta, el COP y la eficiencia exergética disminuye. Sin embargo, si la temperatura ambiental se mantiene constante y la temperatura frigorífica disminuye, la eficiencia exergética aumenta y el COP disminuye. Por ejemplo, en el Punto A, se tiene un COP de 2.76 con una eficiencia exergética de 32.36 % y en el Punto B tiene un COP de 2 con 29.57 % de eficiencia exergética. Esto quiere decir, si hay un aumento de 5° C, en la temperatura ambiente y se disminuye la temperatura 7 ° C en la cámara frigorífica, la eficiencia disminuye 2.79 % y 0.76 en el coeficiente de

desempeño. Esto se debe a que la relación de presiones de compresión se incrementa, desde el evaporador hasta el compresor, de esta manera, el trabajo de compresión aumenta y el efecto refrigerante disminuye.

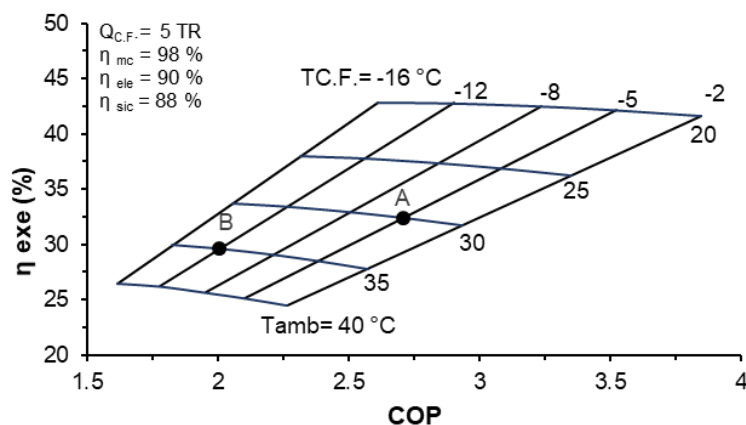


Fig. 6: Eficiencia exergética en función del COP.

En la Figura 7, se muestra el comportamiento de la eficiencia exergética y costos exergoeconómicos en función de la temperatura ambiental y frigorífica. Si la temperatura de la cámara frigorífica permanece constante y la temperatura ambiente aumenta, el rendimiento exergético disminuye y los costos de operación aumentan, por el contrario, si se disminuye la temperatura frigorífica y la temperatura ambiente se mantiene fija, la eficiencia exergética y los costos exergoeconómicos aumentan. Por ejemplo, comparando el punto A y B, donde se tienen diferentes temperaturas de operación, los COEE y la eficiencia exergética aumentan y disminuye un 142.169 % y 2.79 respectivamente.

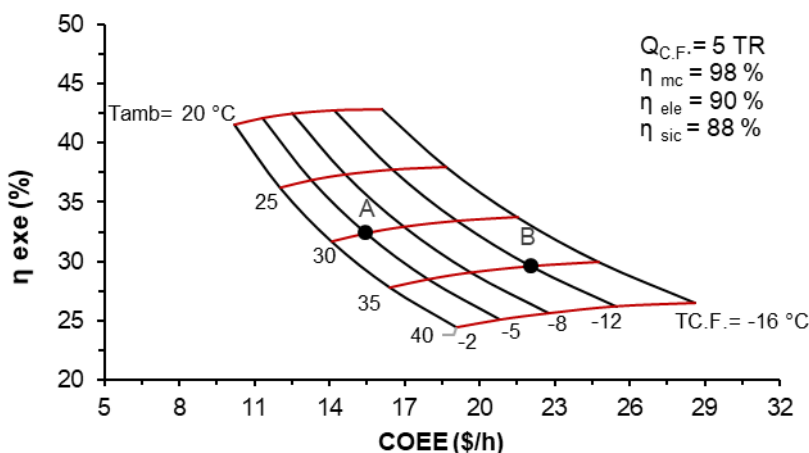


Fig. 7: COEE en función de la eficiencia exergética del ciclo de refrigeración.

Conclusiones

El estudio termoeconómico que se realiza a estos tipos de ciclos es de gran relevancia para optimizar, diseñar o realizar futuras mejoras.

Para realizar un análisis termoeconómico se debe seleccionar una estructura productiva donde se toma el calor absorbido de la cámara frigorífica como recurso del sistema, corriente exergética 8 y el calor disipado se contempla como una irreversibilidad, corriente exergética 7 y como no forma parte de la absorción de calor del espacio frigorífico se considera como un residuo del sistema, de esta manera, el equipo mayor afectado es el condensador, ocasionando mayores costos, seguido por el proceso de estrangulamiento, compresor, motor eléctrico y evaporador respectivamente.

Es de gran relevancia la interpretación de un análisis termoeconómico para esta clase de sistemas térmicos, que consumen potencia eléctrica, puesto que, el estudio termoeconómico se utiliza generalmente para sistemas de generación de potencia, los cuales tienen estructuras productivas rígidas, es decir, sus componentes tienen propósitos definidos.

De igual forma, con este análisis, se observa que los resultados tienen mayores afectaciones por las condiciones ambiental que las condiciones tecnológicas.

Agradecimientos

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología, por el financiamiento de la Estancia Especializada a través del Programa de Investigadoras e Investigadores COMECyT EDOMEX.

Referencias

- [1] R. D. Misra, P. K. Sahoo y A. Gupta, «Thermoeconomic evaluation and optimization of an aqua-ammonia vapour-absorption refrigeration system,» *International Journal of Refrigeration*, vol. 29, nº 1, pp. 47-59, 2006.
- [2] J. G. Tsatsaronis, «Exergoeconomic evaluation and optimization of energy systems-application to the CGAM problem,» *Energy*, vol. 19, nº 3, pp. 287-321, 1994.
- [3] A. Valero, *Curso de doctorado Termoeconomía*, Zaragoza: Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Zaragoza, 2001.
- [4] C. Frangopoulos, «Application of the thermoeconomic functional approach to the CGAM,» *Energy*, vol. 19, nº 3, pp. 323-342, 1994.
- [5] F. d. Massimo Dentice d'Accadia, «Thermoeconomic optimization of a refrigeration plant,» *International Journal of Refrigeration*, vol. 21, nº 1, pp. 42-54, 1998.
- [6] M. Antonio Piacentino, «Critical analysis of conventional thermoeconomic approaches to the diagnosis of multiple faults in air conditioning units: capabilities, drawbacks and improvement directions. A case study for an air-cooled system with 120 kW capacity,» *International Journal of Refrigeration*, vol. 36, nº 1, pp. 24-44, 2013.
- [7] I. E. Hernández Mora, R. Lugo Leyte, A. E. Bonilla Blancas, T. López Arenas, M. Salazar Pereyra y H. D. Lugo Méndez, «Análisis exergoeconómico de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor incluyendo el costo de imputación por la formación del residuo,» *DYNA*, vol. 86, nº 208, pp. 336-345, 2019.
- [8] A. E. Bonilla Blancas, M. Salazar Pereyra, A. Mora Ortega, R. Lugo Leyte, H. D. Lugo Méndez y E. V. Torres González, «Operation costs exergoeconomic of transcritical refrigeration cycle with carbon dioxide.,» *International Journal of Ambient Energy*, vol. 40, pp. 1-9, 2018.
- [9] R. Lugo Leyte, N. Salazar Pereyra, O. A. Ruíz Ramírez, J. M. Zamora Mata y E. V. Torres González, «Análisis de costos de operación exergoeconómicos a un ciclo teórico de refrigeración por compresión de vapor usando HFC-134a,» *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 12, nº 2, pp. 361-370, 2013.
- [10] C. F. d. electricidad, «CFE,» 2018. [En línea]. Available: https://app.cfe.mx/aplicaciones/ccfe/tarifas/tarifas/Tarifas_casa.asp?Tarifa=DACTAR1&anio=2018. [Último acceso: 14 Diciembre 2018].

Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales de la industria azucarera en un sistema híbrido

C. I. Gutiérrez-González¹, F. Orduña-Gaytán¹, A. Alvarado-Vallejo^{1*}, A. Alvarado-Lassman¹,
N. A. Vallejo-Cantú^{*1}.

¹División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, Oriente 9 No. 852, Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Veracruz, México.
norma.vc@orizaba.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El vertido de Aguas Residuales de la Industria Azucarera (ARIA) genera alteraciones al ecosistema debido a la falta de tratamientos adecuados. Actualmente, las tecnologías de tratamiento buscan brindar alternativas económicamente viables mitigando el impacto ambiental en regiones tropicales de países como Brasil, India y México. Por lo tanto, este estudio presenta la remoción de contaminantes de las aguas residuales producto de la transformación de caña de azúcar, mediante un sistema híbrido en dos etapas: 1) Reactor de Hidrólisis Anaerobio (RHA) y 2) Humedales Construidos en Paralelo (HCP). El ARIA se alimentó por lotes de 10 L al RHA con una CVa= 15 g DQO/L.d, TRH= 24 h, condiciones mesofílicas (35 ± 2 °C) y pH= 5.5 ± 2 , el efluente resultante se alimentó al HCP con TRH= 72 h sin ajustes de pH. En la primera etapa las mejores remociones fueron de 70 % de DQO_T, 69 % DQO_S, 72 % ST, 60 % STV, respectivamente, y el HCP alcanzó 45 % de remociones de DQO_T, 40 % DQO_S, 69 % ST, 68 % STV para los mismos parámetros.

Palabras clave: Tratamiento híbrido, Reactor anaerobio, humedales construidos, Industria azucarera.

Abstract

*The discharge of Wastewater from the Sugar Industry (ARIA) generates alterations to the ecosystem due to the lack of adequate treatment. Currently, treatment technologies seek to provide non-intrusive and economically viable eco-centric alternatives, mitigating the environmental impact in tropical regions of countries such as Brazil, India and Mexico. Therefore, this study presents the removal of contaminants from the ARIA product of the transformation of sugar cane (*Saccharum officinarum* L.), through a hybrid system in two stages: 1) Anaerobic Hydrolysis Reactor (AHR) and 2) Constructed Wetlands in Parallel (HCP). The ARIA was fed in batches of 10 L to the RHA with a CVa= 15 g COD/L.d, TRH= 24 h, mesophilic conditions (35 ± 2 °C) and pH= 5.5 ± 2 , the resulting effluent was fed to the HCP with TRH= 72 h without pH adjustments. In the first stage, the best removals were 70 % COD, 69 % COD, 72 % ST, 60 % STV, respectively, and the HCP reached 45 % of COD, 40 % COD removal, 69 % ST, 68% STV removals for the same parameters.*

Key words: Hybrid treatment, Anaerobic reactor, constructed wetlands, sugar industry.

Introducción

La agroindustria azucarera en México utiliza como materia prima la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), la producción nacional de esta especie vegetal se realiza en 873 978 hectáreas que generan 56,300,000 ton de materia prima y surten a un poco más de 55 ingenios o fábricas azucareras ubicado en 15 estados del nuestro país [1]. En los ingenios azucareros se producen aproximadamente 1000 L de aguas residuales (2300-8000 mg/L DQO) por tonelada de caña de azúcar procesada. Debido a la normatividad y sustentabilidad que estos procesos requieren para cumplir las regulaciones ecológicas vigentes, es deseable la integración de sistemas ecológicos que funcionen como operaciones unitarias. Por lo tanto, la implementación de un sistema de tratamiento híbrido puede convertirse en una alternativa sustentable y eficiente para el tratamiento de aguas residuales de origen agroindustrial azucarera.

En la Tabla 1 se muestran las industrias más importantes con base al volumen de aguas residuales descargadas y su carga orgánica, se puede establecer que el sector más contaminante en México es la agroindustria azucarera.

Este sector no cumple con la legislación vigente, ya que durante sus procesos en general se utilizan de 1500-2000 L de agua y genera aproximadamente 1000 L de aguas residuales (6500 mg DQO/L y 4000 mg DBO₅/L) por tonelada de caña procesada [2] excediendo los límites máximos permisibles de descargas a bienes nacionales.

Tabla1. Generación de agua residual por industria [2]

Origen de descarga	Caudal (m ³ /s)	Carga orgánica (1000 t DBO ₅ /año)
Azucarera	45.9	1884
Petrolera	11.4	1992
Servicios	10.5	77
Química y Farmacéutica	6.9	312
Celulosa y papel	5.5	122

Una alternativa viable, eco-céntrica no intrusiva y económicamente viable es la integración de Humedales Construidos (HC) a sistemas de tratamiento primario o secundario para el tratamiento eficiente de aguas residuales debido al bajo costo de operación y mantenimiento [4,5]. Los HC se emplean para dar tratamiento a las aguas residuales de casa habitación, agrícolas, lixiviados, descargas de efluentes de la industria de papel, textiles, de alimentos, petroleras entre otras. Estas aguas si se descargan sin tratamiento, producen problemas de contaminación en los ecosistemas acuáticos y terrestres. El rendimiento de un humedal construido depende de diversos factores entre los que se pueden destacar, el tipo de humedal, la vegetación utilizada, la carga hidráulica a tratar y el medio utilizado como soporte o lecho [6].

El uso de plantas ornamentales es un componente esencial en el diseño y operación de un humedal construido. Entre la diversidad de funciones, promueven el asentamiento de material suspendido, la retención de sólidos en suspensión, proporcionan superficie para el desarrollo de biopelículas microbianas y transportan oxígeno a su zona radicular, aireando el sustrato, permitiendo tener gradientes de óxido- reducción desde anaerobiosis hasta aerobiosis para mejorar la remoción de contaminantes. Dentro de los procesos biogeoquímicos que se llevan a cabo dentro de los HC destacan la metanogénesis, respiración aerobia y la desnitrificación, a través de los cuales se remueve carbono y nitrógeno debido a la remoción de nutrientes y su incorporación en los tejidos vegetales [7,8].

Los HC se pueden dividir de acuerdo al flujo de alimentación, en dos tipos de sistemas: flujo superficial y Humedales de Flujo Subsuperficial (HFS) donde destaca este último, por ser sistemas efectivos en el tratamiento de distintos tipos de aguas residuales incluyendo las procedentes de industrias, agricultura, residuos mineros, filtraciones de vertederos y aguas pluviales urbanas a causa de la eliminación de contaminantes en masa por m² de área de superficie del sistema [9]. Los HFS emplean principalmente grava como medio de soporte, los principales medios para favorecer el crecimiento de las plantas; las aguas residuales fluyen vertical u horizontalmente a través del soporte, donde entran en contacto con microorganismos, adheridos a las superficies y a las raíces de las plantas [10].

De modo que la implementación de un sistema híbrido de tratamiento en conjunto por un RHA y un HCP como sistema de depuración para disminuir la contaminación ocasionada por el desfogue de efluentes al medio natural sin tratamiento.

Metodología

Materiales

El Sistema de Tratamiento Híbrido (STH) fue operado en la planta para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba ubicado en el municipio de Orizaba, Veracruz México (18°51'N 97°06'O), en la Región de las Altas Montañas, con clima templado-húmedo durante todo el año, con una temperatura promedio anual de 18.8 °C de acuerdo con el Servicio Meteorológico Nacional. La caracterización de las aguas residuales de la industria azucarera se realizó de acuerdo a los parámetros y técnicas de la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros utilizados para la caracterización del ARIA.

Parámetro	Técnica
DQO _T , DQO _s (g/L)	Método colorimétrico 5220 D Standard Methods
TVS, VS (g/L)	NMX-AA-034-SCFI-2001
PO ₄ - (mg/L)	Método de aminoácidos Standard Methods
NO ₃ - (mg/L)	Método de reducción de cadmio Standard Methods
Temperatura (°C)	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
pH	Método potenciométrico 4500-H+B de Standard Methods

Sistema híbrido

El sistema híbrido se integra por una sección de tanques de almacenamiento y un sedimentador, que hace posible la alimentación del agua a tratar a la primera etapa que consiste en un reactor anaerobio híbrido en el que se realiza la primera parte del proceso de depuración del agua residual. En la segunda etapa se tienen 3 celdas de humedales como se puede apreciar en el esquema de la Figura 1 y en el diagrama del proceso de la Figura 2.



Figura 1. Sistema de tratamiento híbrido

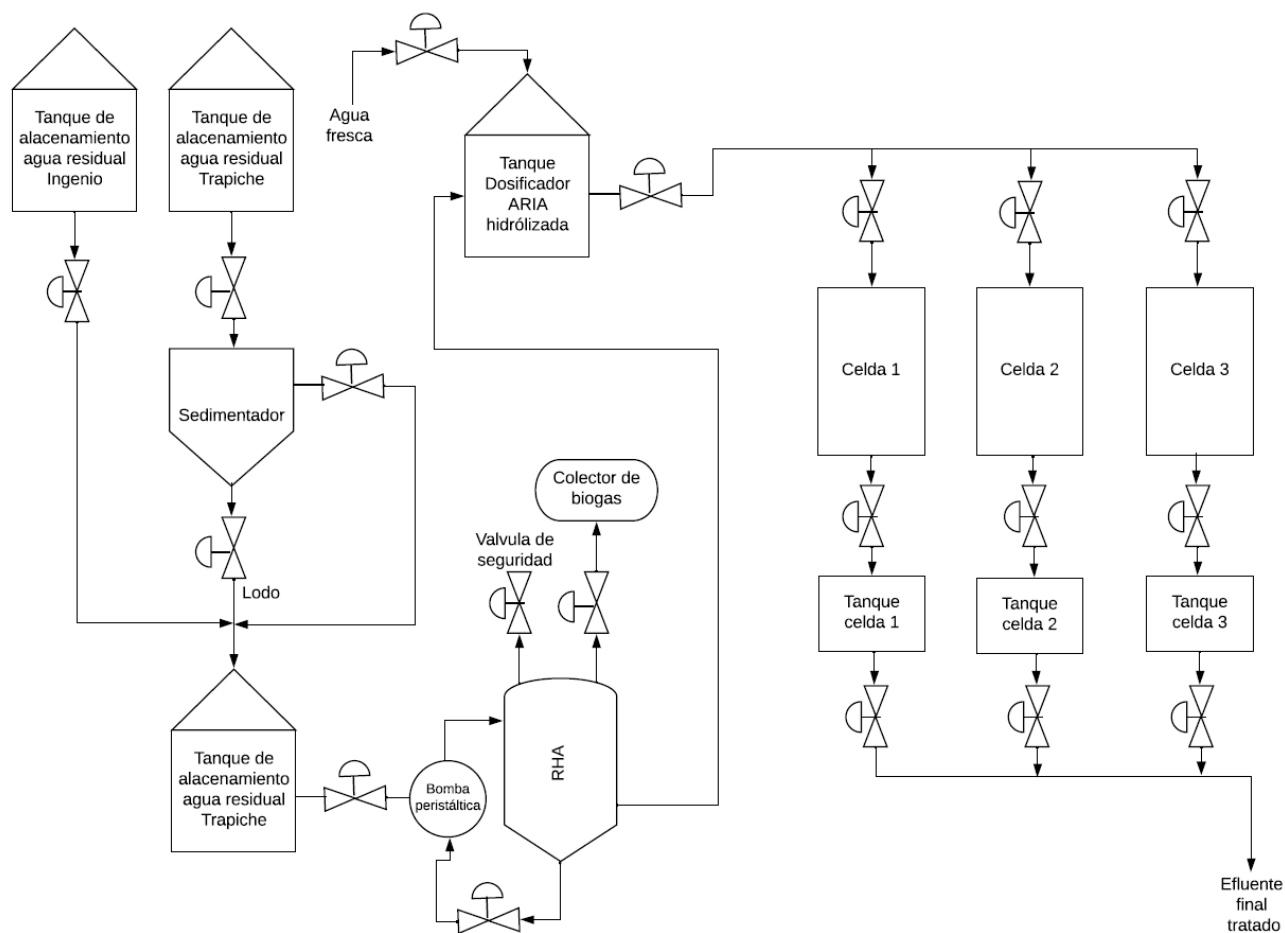


Figura 2. Diagrama de proceso sistema de tratamiento híbrido

Etapa 1. RHA

El reactor fue fabricado con fibra de vidrio a escala piloto con un volumen total de 70 L y volumen útil de 50 L, recubierto con pintura antirreflejante. En su interior instaló un panel de fibras de nylon polyester como soporte para favorecer el desarrollo de la biopelícula bacteriana, se incluye también una bomba peristáltica para la recirculación, lo que permite una mezcla completa bajo condiciones mesofílicas (35 ± 2 °C) con pH ácido (5.5-6.5). En cada lote se alimentaron 10 L manteniendo las mismas condiciones de operación para cada lote consecutivo. La fase de arranque operación y estabilización se realizó previamente con un inóculo especializado proveniente de un reactor hidrolítico. Estas condiciones de operación son debido a trabajos donde se evaluaron las variables más importantes de las cuales depende la efectividad del sistema, tomando en cuenta que el HCP depende del efluente del RHA se emplearon distintas cargas volumétricas aplicadas (6, 9, 15 y 21 gDQO/L·d), velocidad de recirculación (20, 37 y 60 L/h) y TRH (8, 16, 24 h) con lo que se determinó que las mejores remociones se obtienen con la $CVA = 15$ gDQO/L·d, $V_{recirculación} = 20$ L/h y TRH = 24 h [11]

Etapa 2. HCP

El humedal construido está compuesto por tres celdas de acrílico reforzado, en su interior cada celda contiene un material de soporte empleando tres tipos de soporte, grava volcánica roja (GVR), PET y material de plástico corrugado, sembradas en monocultivo con las especies ornamentales *Canna Indica L.*, *Spathiphyllum willisii* y la *Typha sp* nativa de Humedales Naturales (HN). El volumen total de las tres celdas es de 972 L con volumen útil de 300 L.

Sustrato

El agua residual de la industria azucarera se recolectó de 3 distintos ingenios azucareros muestreados en los ríos La Antigua, Matzinga y Cuautlapan de los municipios de Cardel, Amatlán y Cuautlapan respectivamente, de la región de las altas montañas en bidones de plástico de 20 L y se almacenó en refrigeración a una temperatura de $4 \pm 2^\circ\text{C}$ para su posterior caracterización y tratamiento, el efluente del trapiche se recolectó en bidones de plástico de 20 L, el trapiche está ubicado en el municipio de Fortín de las Flores, Veracruz. El acondicionamiento del ARIA consistió en un tanque sedimentador para remover la mayor cantidad de materia orgánica suspendida debido a que los reactores de biopelícula pueden verse afectados en cuanto al desempeño de degradación de sustratos cuando los sólidos suspendidos afectan la superficie de contacto entre las bacterias, además debido a la recirculación constante generan problemas de fluidización y obstrucción en el flujo de bombas, tuberías y válvulas. Una vez acondicionado y caracterizada el ARIA sirvió como sustrato de alimentación para la primera etapa del tratamiento.

Carga orgánica aplicada y régimen hidráulico

Se procedió al arranque, operación y monitoreo del STH tal y como se describe en la Figura 3 y de acuerdo con el promedio de los ensayos experimentales.

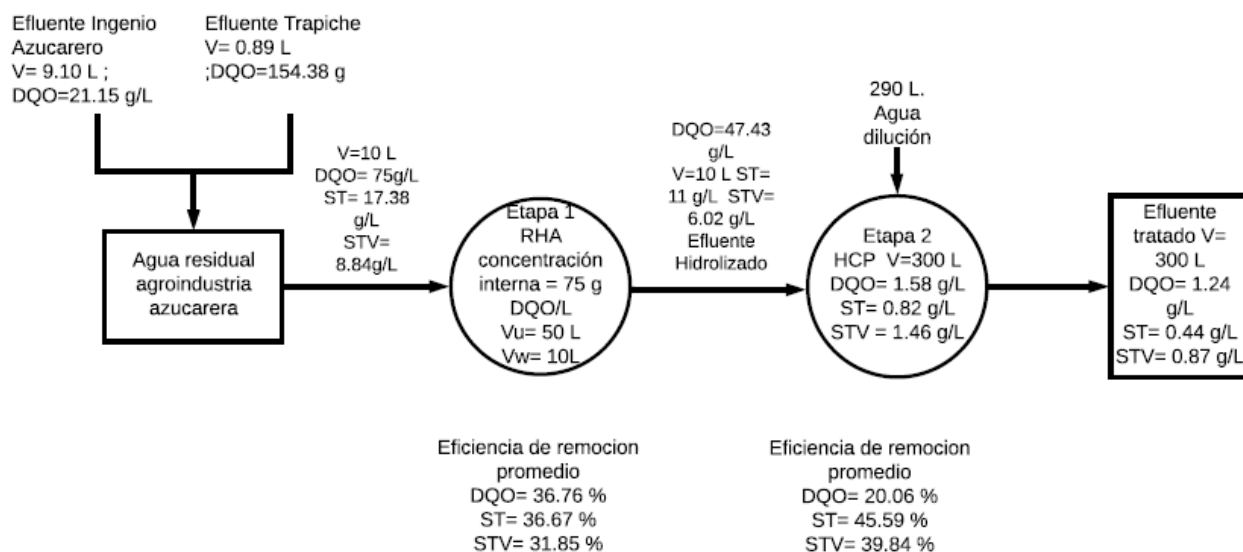


Figura 3. Diagrama del sistema de tratamiento híbrido

Etapa 1. Las condiciones operacionales del RHA fueron: $C_{va}=15 \text{ gDQO/L.d}$ correspondiente a una concentración de $\text{DQO}=75 \text{ g DQO/L}$; sin embargo a partir de la caracterización inicial del agua residual proveniente del ingenio azucarero ($\text{DQO}= 21.15 \text{ g/L}$; $\text{ST}= 7.31 \text{ g/L}$; $\text{STV}= 5.56 \text{ g/L}$; $\text{pH}= 4.60$) es necesario un sustrato de mayor concentración, pero de características similares; por lo que se emplea un efluente de un trapiche, el cual contiene azúcares no cristalizables, residuos de cachaza, vinazas y residuos orgánicos del triturado de caña; con los resultados obtenidos caracterizando este segundo efluente ($\text{DQO}= 154.38 \text{ g/L}$; $\text{ST}= 52.26 \text{ g/L}$; $\text{STV}= 33.06 \text{ g/L}$; $\text{pH}= 4.47$) se realiza una combinación de sustratos de alimentación para cumplir con las condiciones de operación. La combinación de ambos efluentes da como resultado el Agua residual de la azucarera (ARIA), para esto es necesario agregar 9.1059 L de agua residual de los ingenios azucareros y 0.8941 L de agua residual del trapiche, con dicho sustrato de alimentan los 10 L al RHA.

El RHA se operó con 30 lotes (llenado y vaciado), es decir de retiraban 10 L de agua tratada y se alimentaban 10 L de agua contaminada. Cada nuevo lote corresponde a una alimentación en el reactor y $\text{TRH} = 24 \text{ h}$ ajustando el pH con NaHCO_3 . Se tomaron muestras a la entrada y a la salida del RHA para su caracterización. El efluente resultante de esta etapa fue almacenado en un tanque y usado como alimentación para la siguiente etapa.

Etapa 2. El efluente del reactor se agregó a las celdas HCP a través del tanque de distribución diluyendo los 10 L provenientes de la etapa anterior con 290 L de agua fresca. Cada prueba corresponde a un nuevo lote del reactor para asegurar el acondicionamiento y estabilización de las especies de plantas bajo condiciones de

inundaciones prolongadas. Las celdas del HCP se inundaron completamente con efluente parcialmente digerido del reactor con un caudal de alimentación de 33 mL/min durante 72 h sin ajustes de pH hasta que el efluente tratado saliera por completo de las unidades experimentales, es decir 100 L por celda. Esto se realizó con la finalidad de determinar el comportamiento del sistema de tratamiento y asegurar su efectividad. De igual forma se tomaron muestras a la entrada a la salida del HCP para su análisis. La fase de remoción de nutrientes se realiza mediante el complemento de este dispositivo, donde el valor de entrada de NO_3^- y PO_4^- .

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos se presentan a continuación de acuerdo con las dos etapas de la investigación descritos en la metodología:

1. Reactor de hidrólisis anaerobio
2. Humedales construidos en paralelo

En la Figura 4 se puede observar el monitoreo de los 30 lotes alimentados al RHA. Al inicio de la operación del reactor se mantuvo una concentración promedio de 75 g DQO/L, cumpliendo el TRH de 24 horas, la concentración disminuye considerablemente en un rango de 16 a 18, hasta un 70 % para la DQO total y soluble. Cabe resaltar que posteriormente a los 15 días de operación se presentó una perturbación dentro del reactor durante los cambios en el sustrato de operación fue muestreado disminuyendo las remociones, alcanzando concentraciones de 30 g DQO/L.d, es posible que esto se debió a un desprendimiento de la biopelícula bacteriana en los paneles de fibra, alterando a materia orgánica disuelta a causa del flujo de recirculación; sin embargo, posteriormente la remoción se estabiliza nuevamente por lo que el RHA fue capaz de asimilar por acción microbiana el material orgánico a partir del ensayo 18.

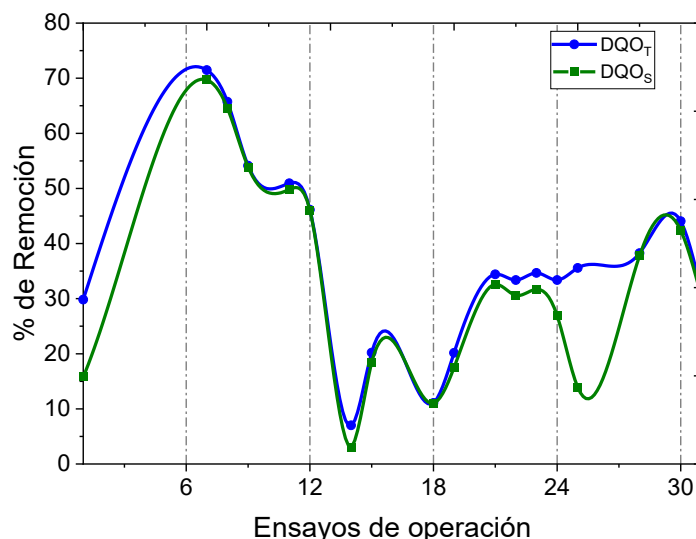


Figura 4. Remoción de DQO por RHA

Debido a las dinámicas de nitrificación y desnitrificación, se presentó un aumento en la concentración de nitrógeno medido en forma de NO_3^- , tal y como se puede observar en la Figura 5, iniciando en una concentración de 0.21 mg/L hasta llegar a un valor cercano a los 0.40 mg/L, observándose que son concentraciones muy bajas.

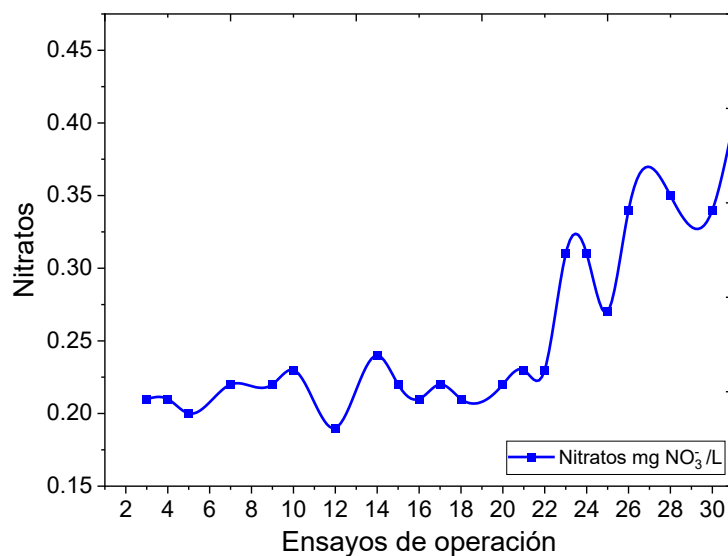


Figura 5. Concentración de Nitratos en el RHA

A diferencia de los nitratos, el comportamiento de los fosfatos al interior del RHA presentó oscilaciones considerables con una tendencia marcada que rondan de los 0.55 a 0.65 mg/L, como se muestra en la Figura 6.

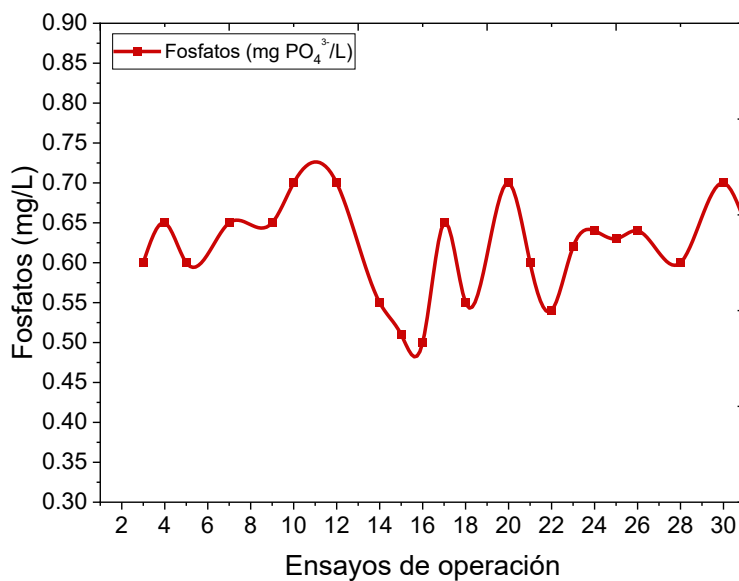


Figura 6. Concentración de fosfatos en el RHA

En la operación inicial, se presentan remociones de sólidos del 21 %, mientras que en el día 21 de operación alcanzó una remoción del 70 % de ST y del 60 % de STV, tal como se muestra en la Figura 7.

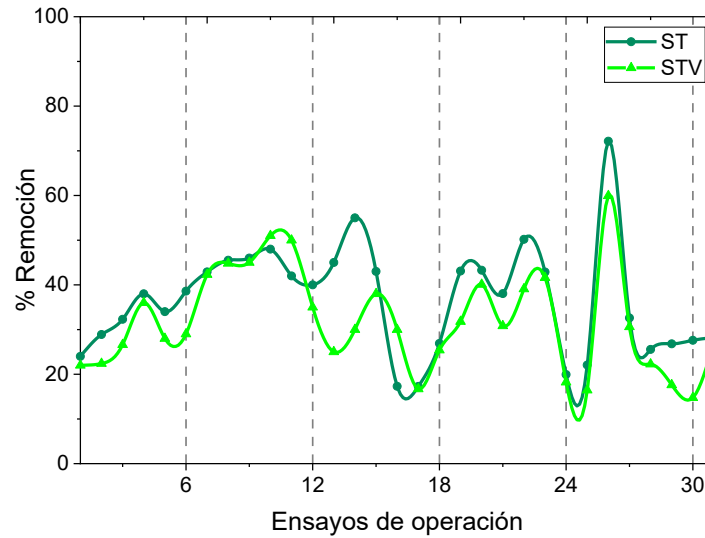


Figura 7. Remoción de solidos en el RHA

Se puede observar el monitoreo del pH en la Figura 8, mostrándose un valor ácido característico de la hidrólisis anaerobia, con un rango de operación de 5 a 5.5. El pH de salida del RHA presenta una acidificación, con un efluente resultante de 4.5 a 5.5, esto se debe al TRH y el proceso de la hidrólisis como primera etapa de la digestión anaerobia.

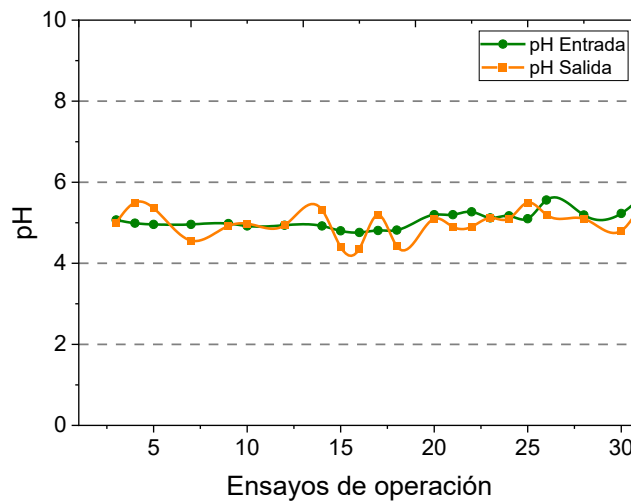


Figura 8. pH de entrada y salida

Posteriormente, después del arranque y operación continua del RHA, se realizó la operación bajo las condiciones estándar presentadas en el apartado anterior. A partir de esto se construye el gráfico de la Figura 9 observando una remoción inicial del 10 % y en aumento exponencial hasta el día 9 alcanzando una remoción máxima del 45 %, coincidiendo con lo reportado por [11]. Posteriormente después de algunas variaciones, las remociones disminuyeron alcanzando remociones del 15 %, coincidiendo a la reubicación del STH, y por ende del RHA a condiciones bajo techo a únicamente bajo sobra con malla del vivero de la planta piloto.

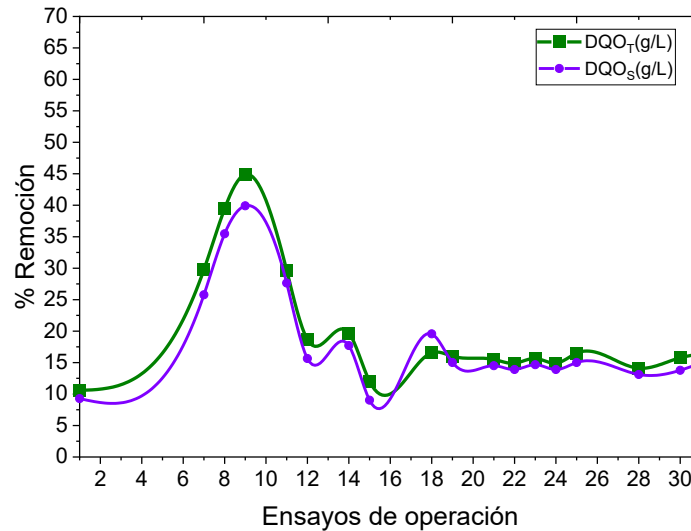


Figura 9. Porcentaje de remoción DQO en el HCP

En la Figura 10 se puede observar como a partir de una concentración de alimentación de $0.40 \text{ mgNO}_3^- / \text{L}$ (día 1); posteriormente la concentración a la salida del HCP disminuye progresivamente. Sin embargo, en el día 11 de operación esta concentración de salida aumento, por el rendimiento de la remoción alcanza a remover en promedio $15 \text{ mg NO}_3^- / \text{L}$.

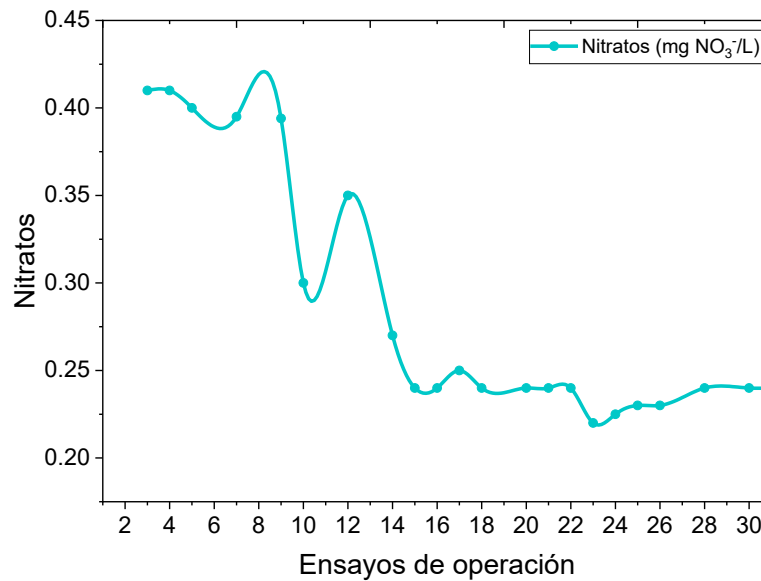


Figura 10. Monitoreo de Nitratos en HCP

La absorción de fósforo varía considerablemente, de acuerdo con, la Figura 11 para la concentración de salida de Fosfatos, donde se presenta una remoción nula de los días 10 al 12. Por otra parte, las concentraciones de salida menores se presentaron a los 15 días de operación del sistema con una remoción del 28 % correspondiente a un efluente de salida con concentración de $50 \text{ PO}_4^{3-} \text{ mg/L}$.

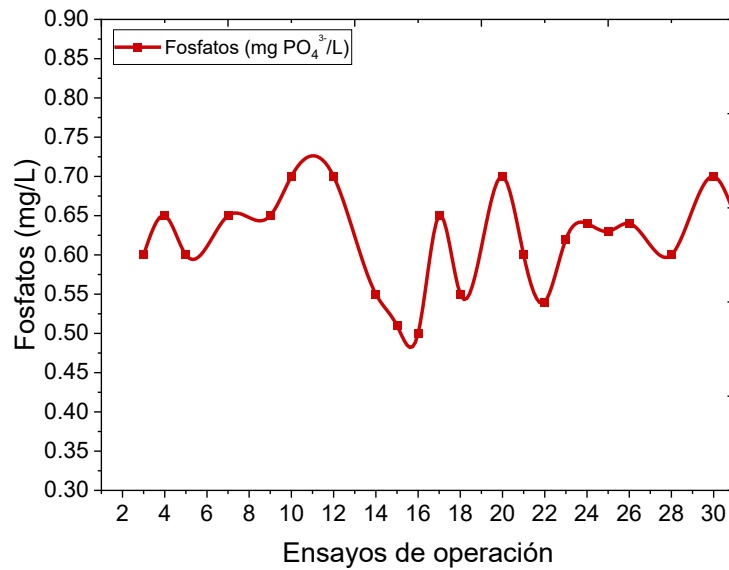


Figura 11. Monitoreo de fosfatos en el HCP

La remoción de salida de material orgánico disuelto en forma de ST y STV, se presenta en la Figura 12 algunas alteraciones provocadas por la velocidad de recirculación y el desprendimiento de la biopelícula, pero a diferencia de la remoción de nutrientes, esta presenta una tendencia al aumento de las remociones alcanzando en el mejor de los casos una remoción cercana al 70 % para ambos casos.

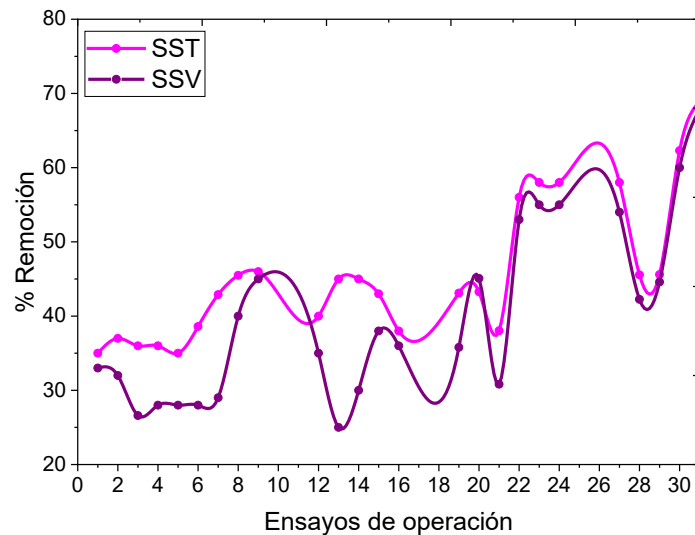


Figura 12. Ensayos de operación del HCP

Trabajo a futuro

Operar los humedales construidos con el efluente del reactor anaerobio híbrido con el 50 % de dilución y sin diluir, evaluando el crecimiento de las especies sembradas en las 3 celdas y las características del agua residual al salir del sistema híbrido

Conclusiones

El reactor de hidrólisis anaerobio con el sistema de fibras de nylon poliéster como medio de soporte de la biopelícula, mostró un adecuado comportamiento para realizar la hidrólisis del agua residual combinada del efluente ingenio azucarero-trapiche, a una Cva de 15gDQO/Ld, logrando reducir en un 40 % en promedio dicha carga contaminante.

Los humedales construidos como tratamiento complementario, para la depuración del efluente proveniente del reactor hidrolítico fue adecuado. De manera general la adaptación y supervivencia de la vegetación utilizada fue buena, ya que las condiciones de operación y características del efluente no afectaron su crecimiento y función en los HC configurados en paralelo, lográndose remociones del 90 % de la carga orgánica. Cabe resaltar que es importante el control de la Cva de alimentación, ya que de esto puede alterar el comportamiento en las remociones del sistema híbrido.

Agradecimientos

Referencias

- [1] INEGI, "Encuesta Nacional Agropecuaria 2019 Boletín Técnico Informativo," México, 2019.
- [2] T. K. Dongaa, O. M. Ekloa, "Environmental load of pesticides used in conventional sugarcane production in Malawi", *Crop Protection*, 108, 71-77, 2018
- [3] SEMARNAT, 2003, Volumen de descarga de aguas residuales industriales y municipales, disponible en: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_AGUA07_10&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREANIO=*.
- [4] Y. M. Aleissa, B. R. Bakshi, "Constructed Wetlands as Unit Operations in Chemical Process Design: Benefits and Simulation"
- [5] T. Saeed, S. Muntaha, M. Rashid, G. Sun, A. Hasnat, "Industrial wastewater treatment in constructed wetlands packed with construction materials and agricultural by-products," *J. Cleaner Prod.* 189, 442–453, 2018.
- [6] D. Parde, A. Patwa, A. Shukla, R. Vijay, D. J. Killedar, & R. Kumar, "A review of constructed wetland on type, treatment and technology of wastewater," *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101261. 2021. doi:10.1016/j.eti.2020.101261
- [7] G. Morales, López, D., Vera, I., & G. Vidal, Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas. *Constructed wetlands with ornamental plants for removal of organic matter and nutrients contained in sewage. Theoria*, 22(1): 33-46, 2013.
- [8] A. Hernández, E. María, Humedales ornamentales con participación comunitaria para el saneamiento de aguas municipales en México. *RINDERESU (Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable)*, 1(2):01-12, 2016.
- [9] I. A. Araneda-Gallardo, "Humedales construidos para tratamiento sustentable de aguas grises: efecto del acople a una celda de combustible microbiana," Memoria, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2016.
- [10] T. Saeed, R. Afrin, A. Al Muyeed, G. Sun, "Treatment of tannery wastewater in a pilot-scale hybrid constructed wetland system in Bangladesh. *Chemosphere* 88 (9), 1065–1073, 2012.
- [11] L. Castro-Mendez "Evaluación del sistema híbrido reactor anaerobio de biopelícula-humedal construido en el tratamiento de un agua residual azucarera a escala mesocosmos" Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, Orizaba, México, 2022.

“Caracterización fisicoquímica y microbiológica del pópo, una bebida tradicional de la región sureste de México”

Zuemy Hernández Nolasco¹, Mariana Inés Acateca Hernández¹, María Elizabeth Márquez López², Enrique Flores Andrade², Marisol Castillo Morales^{1*}

¹Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Prolongación Oriente 6, Orizaba, Veracruz, 94340, México.

*maricastillo@uv.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Tres masas para preparar la bebida tradicional pópo fueron caracterizadas en términos fisicoquímicos y microbiológicos por primera vez. Las bacterias mesofílicas aerobias fue la especie más abundante detectada (6.00 a 5.3792 log UFC/g) mientras que las bacterias del ácido láctico representaron el segundo grupo principal presentes en la muestras (4.94 hasta 5.68 log UFC/g). El pretratamiento del arroz actúa como principal sustrato para la microbiota inicial en las masas. El pH de las masas osciló entre 5.25 y 6.3. Se encontraron microorganismos coliformes en las Masas A y B en concentraciones de 2.67 y 2.84 log UFC/g respectivamente, mientras que la Masa C se consideró segura microbiológicamente. La incorporación del cacao, arroz y canela elevó el contenido de grasas, almidón y proteína total permitiendo otorgarle a la bebida sabor, energía y posibles efectos potenciales fisiológicos derivado de los antioxidantes y proteínas.

Palabras clave: *bebidas tradicionales, fermentación, bacterias ácido lácticas.*

Abstract

Three masses to prepare the traditional drink pópo were characterized in physicochemical and microbiological terms for the first time. Aerobic mesophilic bacteria were the most abundant species detected (6.00 to 5.3792 log UFC/g) while lactic acid bacteria represented the second main group present in the samples (4.94 to 5.68 log UFC/g). Rice pretreatment acts as the main substrate for the initial microbiota in the dough. The pH of the masses ranged between 5.25 and 6.3. Coliform microorganisms were found in Masses A and B at concentrations of 2.67 and 2.84 log UFC/g, respectively, while Mass C was considered microbiologically safe. The incorporation of cocoa, rice and cinnamon increased the content of fats, starch and total protein, allowing the drink to be given flavor, energy and potential physiological effects derived from antioxidants and proteins.

Key words: *traditional beverages, fermentation, lactic acid bacteria.*

Introducción

Las bebidas fermentadas tradicionales de México son producidas de manera artesanal por ciertos grupos étnicos, su consumo como fuente potencial de ingredientes funcionales se debe a la composición de su microbiota y moléculas generadas durante el proceso de fermentación (Ramírez-Guzmán et al., 2019). En México, desde tiempos prehispánicos se consume una amplia variedad de bebidas fermentadas a partir de cereales, frutas y plantas; con impactos positivos a la salud humana (probióticos, prebióticos y nutracéuticos) que contribuyen al buen funcionamiento del organismo. Entre las bebidas fermentadas de mayor consumo se encuentran el pulque, tepache, pozol, tejuino, tejate, axokot, tuba, chorote, colonche y el pópo (Rubio-Castillo et al., 2021). Aunque el listado de bebidas fermentadas es extensa; en algunos casos, su información es escasa, tal es el caso del pópo. El pópo es una bebida tradicional de la región sureste del estado de Veracruz, donde esta bebida adquiere un valor cultural único y religioso. Se elabora a partir de arroz, cacao, frutos de chupipe y canela, dichos ingredientes se someten a molienda hasta la obtención de una masa homogénea que se diluye con agua y azúcar al gusto. Sometiéndose a una agitación con ayuda de un molinillo obteniendo abundante espuma que se sirve en jícaras, sin embargo, a pesar de su consumo tradicional no se han desarrollado estudios rigurosos que detallen las propiedades nutricionales del popo. Por lo tanto, en el presente trabajo se estudió la caracterización y comparación de las masas de popo (obtenidos a partir diferentes regiones) en términos fisicoquímicos y microbiológicos.

Materiales y métodos

Masas de pópo origen y muestreo

Las tres muestras de masas de pópo utilizadas en este estudio fueron seleccionadas de la región sureste del estado de Veracruz, con un tiempo de fermentación de 3 a 5 h. Las muestras fueron elaboradas con cacao, arroz, canela y frutos de chupipe.

Designación	Origen
Masa A	Acayucan, Ver.
Masa B	Soconusco, Ver.
Masa C	Oluta, Ver.

Caracterización fisicoquímica

Las composiciones proximales se determinaron utilizando los procedimientos estándar de la AOAC. Los parámetros determinados fueron contenido de humedad, acidez titulable, pH, grasas, cenizas, fibra y proteína cruda. El contenido de proteína se calculó multiplicando el nitrógeno total por el factor 6.25. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Actividad de agua

La actividad de agua se midió con un equipo (Novasina LabMASTER), con control interno de temperatura a 25 °C previamente calibrando. La lectura de la actividad de agua fue obtenida hasta que alcanzó el equilibrio dentro de la celda de medición

Contenido de almidón

El contenido de almidón se cuantificó espectrofotométricamente siguiendo la metodología de Ortiz *et al.* (2015). Brevemente 10 mg de las muestras secas se dispersaron en 1 mL de agua destilada y fueron colocadas a punto de ebullición por 10 minutos. Alícuotas de 300 µL de muestras centrifugadas (2500 rpm x 2 min) se mezclaron con 900 µL de etanol puro (JT Baker, E.E. UU.) y centrifugadas a 10 000 rpm por 5 min. El almidón precipitado fue resuspendido en 1 mL de agua destilada y se agregó 50 µL de solución de yodo. La absorbancia se midió a 595 nm con un espectrofotómetro de UV-visible (Thermo Scientific Evolution, 260 BIO). La concentración de las muestras fue calculada en base a la curva de calibración.

Medición de color

El color fue evaluado utilizando un colorímetro marca (Konica Minolta Optics, INC-B8210364, Japón). Los siguientes atributos de color evaluados fueron: L (luminosidad del color), a* denota el valor rojo (+) y verde (-) y b* el valor amarillo (+) y azul (-).

Caracterización microbiológica

Una muestra representativa de masa de pópo (10 g) se homogenizó en 90 mL de solución salina al 0.9% p/v durante 1 minuto. La mezcla se utilizó para preparar diluciones en serie. Las poblaciones totales de bacterias mesofílicas, BAL, coliformes y levaduras se determinaron mediante placas de agar tripton-extracto de levadura, agar MRS BD DIFCO (Becton Dickinson, México, D.F.), agar-rojo-violeta-bilis-lactosa (RVBA) (MCD LAB, México, D.F.) ajustado a pH a 7.4 y agar papa dextrosa BD DIFCO (Becton Dickinson, México, D.F.) acidificado a pH de 3.5, respectivamente. Las placas fueron incubadas a 35°C (mesofílicos aerobios, BAL y enterobacterias) y 25°C durante 120 h (levaduras). Los resultados fueron expresados como unidades formadoras de colonias por g de muestra (UFC/g).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se obtuvieron por triplicado, se calcularon los valores medios y las desviaciones estándar. Los resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias en los valores se consideraron significativas cuando el valor de *p* fue < 0.05 y analizadas mediante la prueba de tukey. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software estadístico Minitab 19.

RESULTADOS

Caracterización fisicoquímica

Durante la fermentación natural ocurrida en las masas de pópo, una sucesión de cambios fisicoquímicos se desencadenan, debido principalmente a las materias primas utilizadas para la elaboración de las masas que le proporcionan propiedades nutricionales, sensoriales y un ambiente adecuado para la microbiota con posible potencial probiótico. Los resultados derivados de la caracterización fisicoquímica de las tres masas de pópo se muestran en la tabla 2. Dentro de los cambios más importantes se encuentra el contenido de humedad en las masas de pópo que impactan la estabilidad del producto, dado que existe una relación estrecha entre el contenido de agua y su capacidad de deterioro. En este contexto, los valores se encontraron entre 43.43 ± 0.13 y 51.97 ± 0.23 % mostrando diferencias significativas ($P < 0.05$) en las muestras las cuales se consideran de humedad intermedia hecho que impacta la perecibilidad de los productos finales. Así mismo la actividad de agua de las masas se encontró entre 0.955 ± 0.0 a 0.948 ± 0.0 con diferencias significativas ($P < 0.05$) este factor es determinante para la seguridad e inocuidad de los alimentos e indica la cantidad de agua disponible para el crecimiento de microorganismos.

ANÁLISIS	Masa A	Masa B	Masa C
Humedad (%)	51.972 ± 0.23^a	46.025 ± 0.01^b	43.352 ± 0.13^c
Acidez Titulable (%)	0.345 ± 0.01^a	0.379 ± 0.02^a	0.331 ± 0.01^a
pH	6.3 ± 0.00^a	6.26 ± 0.03^a	5.25 ± 0.05^b
Color	L* 46.02 ± 0.35^a	30.24 ± 0.34^b	50.97 ± 0.8^a
	a* 10.42 ± 0.05^a	8.01 ± 0.17^b	8.03 ± 0.10^b
	b* 10.45 ± 0.09^b	12.67 ± 0.46^a	6.06 ± 0.07^c
Grasas (%)	15.092 ± 1.05^a	12.643 ± 0.1^{ab}	11.281 ± 0.11^b
Almidón (%)	10.625 ± 0.1^b	6.502 ± 0.1^c	16.168 ± 0.1^a
Cenizas (%)	0.620 ± 0.02^b	0.814 ± 0.06^a	0.957 ± 0.02^a
a_w	0.955 ± 0.00^a	0.953 ± 0.00^{ab}	0.948 ± 0.00^b
Fibra cruda BS (%)	0.365 ± 0.01^a	0.196 ± 0.07^b	0.239 ± 0.007^b
Proteína cruda (%)	31.675 ± 0.33^a	25.272 ± 0.61^b	25.546 ± 0.36^b

¹Valores expresados como media \pm desviación estándar ($n = 3$).

²En la misma fila, los valores con superíndice similar (a, b, c) no son significativamente diferentes ($P < 0,05$).

Una vez incorporados los ingredientes durante el proceso de molienda, el metabolismo bioquímico, la hidrólisis y la actividad microbiana que inicia tomando como sustrato principal el almidón como una fuente rica de carbono que culmina en la producción de ácidos orgánicos, por tanto, su cuantificación es importante por razones microbianas, nutricionales y sensoriales. En este contexto los valores de pH se encontraron entre 5.25 ± 0.05 y 6.3 ± 0.00 mostrando diferencias significativas ($P < 0.05$), siendo la masa C la más ácida, mientras que los porcentajes de acidez se encontraron entre 0.331 ± 0.01 a 0.379 ± 0.02 % donde no existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las muestras. Resultados similares fueron reportados por de Almeida Silva Vilela *et al.* 2020, quienes informaron 0.3 y 0.7 % de ácido láctico y pH de 6.5 en *calugi* bebida fermentada elaborada a base de maíz que incluye como pretratamiento el remojo del cereal para su elaboración.

Las variaciones de pH, humedad y a_w es posible atribuir las a la breve fermentación que ocurre durante el remojo del arroz ya que este proceso también provoca el ablandamiento de la matriz proteica permitiendo la extracción del almidón de manera más eficiente. En este sentido, el porcentaje de almidón de las muestras se encontró entre 6.2084 ± 0.09 y 16.168 ± 0.1 % mostrando diferencias significativas ($P < 0.05$), el mayor contenido se encontró en la masa C, éstos resultados son equiparables por los obtenidos por Freire *et al.* 2017 quienes reportaron un 13% en la bebida indígena brasileña, *cauim*.

El contenido de cenizas se encontró entre 0.6208 ± 0.02 y $0.957 \pm 0.04\%$ con diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las muestras siendo que la masa B y C presentaron un mayor contenido el cual representa los residuos inorgánicos, sales bajo la forma de iones como cloruros, carbonatos y sulfatos derivados de minerales los cuales se atribuyen principalmente a la naturaleza de las materias primas utilizadas, principalmente los granos de cacao y el arroz rico en fósforo, potasio y calcio (Lange *et al.*, 2019). El contenido de fibra varió de $0.196 \pm 0.07\%$ y $0.3659 \pm 0.02\%$ mostró diferencias significativas ($p < 0.05$), siendo la masa A la que presentó el mayor contenido de fibra, su consumo puede atribuirse efectos benéficos al tracto gastrointestinal. Los resultados de cenizas y fibra obtenidos fueron ligeramente inferiores a lo reportado por Banwo *et al.* 2022 en *Ogi* una bebida hecha a base de maíz y sorgo.

El contenido de grasa en las muestras de pópo se encontró en el intervalo de 11.281 ± 0.11 a $15.092 \pm 1.05\%$, con diferencias significativas ($p < 0.05$), la muestra A presentó el mayor contenido. La concentración de grasas en las masas se atribuye principalmente al cacao como el segundo ingrediente mayoritario en la composición de éstas, los productos elaborados a base de cacao que incluyen al pópo presentan una agradable sensación de sabor, suministran energía y se le atribuyen efectos potenciales fisiológicos asociados a sus efectos antioxidantes si se consumen regularmente. Estos resultados demuestran que el acondicionamiento del cacao aumenta el porcentaje de grasas, resultados similares a los obtenidos en el presente trabajo fueron reportados por Robledo-Márquez *et al.* 2021, quienes reportaron valores de grasa del 12.99% en pozol mezclado con cacao, bebida fermentada tradicional de México.

Por otro lado, el contenido de proteínas en las masas de popo osciló entre $31.67 \pm 0.3\%$ y $25.54 \pm 0.3\%$ encontrando diferencias significativas ($P < 0.05$), se demostró que la masa A mostró un mayor contenido de proteínas. El arroz, cacao y canela aportan a la composición proteica final. La fermentación mejora el valor nutricional, como los aminoácidos esenciales debido a la actividad enzimática como las proteasas y fitasas (Sharma *et al.*, 2020). Los resultados obtenidos son superiores a lo reportado por Maakelo *et al.* 2021 en muestras de *mageu* ($13,7\%$) bebida tradicional africana elaborada a base de harina de maíz y trigo.

Los parámetros colorimétricos (L , a^* y b^*) fueron diferentes en cada una de las masas de popo analizadas (Tabla 2). Los valores de luminosidad (L^*) oscilaron entre 30.24 y 50.97, de acuerdo con el análisis de varianza existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en cuanto a la luminosidad de las masas. Mientras que mediante el método de análisis de comparaciones múltiples se determinó que la masa C presentó una mayor luminosidad en comparación con las masas A y B. Estos valores de L se asemejan a los obtenidos por Paricanaza, (2022), en una bebida a base de quinua, Tarwi y cacao, la cual presentó un valor de 42.892.

En cuanto a los parámetros colorimétricos a^* y b^* de las masas, los valores de a^* oscilaron entre 8.01 y 10.42; mientras que para el parámetro b^* las muestras presentaron valores entre 6.06 y 12.67. El análisis de varianza demostró diferencias significativas ($p < 0.05$) en cuanto a los parámetros de color a^* y b^* de las masas de A, B y C. Por otra parte, las coordenadas de color a^* y b^* indicaron que las muestras tienden a tonalidades rojas y amarillas, respectivamente.

En general, las variaciones de los parámetros colorimétricos de las masas de popo se ven afectadas por las cantidades utilizadas de los ingredientes, principalmente por el cacao que le otorga sabor, olor, consistencia y color a las masas. Este hecho puede explicarse por la mayor concentración de melanoidinas de la adición del cacao, lo que hace que el color de la formulación sea más intenso.

Caracterización microbiológica

El pópo es una masa semisólida de cacao, arroz, canela y frutos de chupipe acidificada como resultado de la actividad de las bacterias ácido lácticas. Una comunidad microbiana compleja que incluye BAL, mesófilos aerobios, coliformes y levaduras ha sido encontrada en las muestras de pópo (A, B y C) tal como lo muestra la **Figura 1.**, estos recuentos se consideran dependientes de la calidad microbiológica de las materias primas, el entorno del proceso de elaboración, el almacenamiento y distribución del producto.

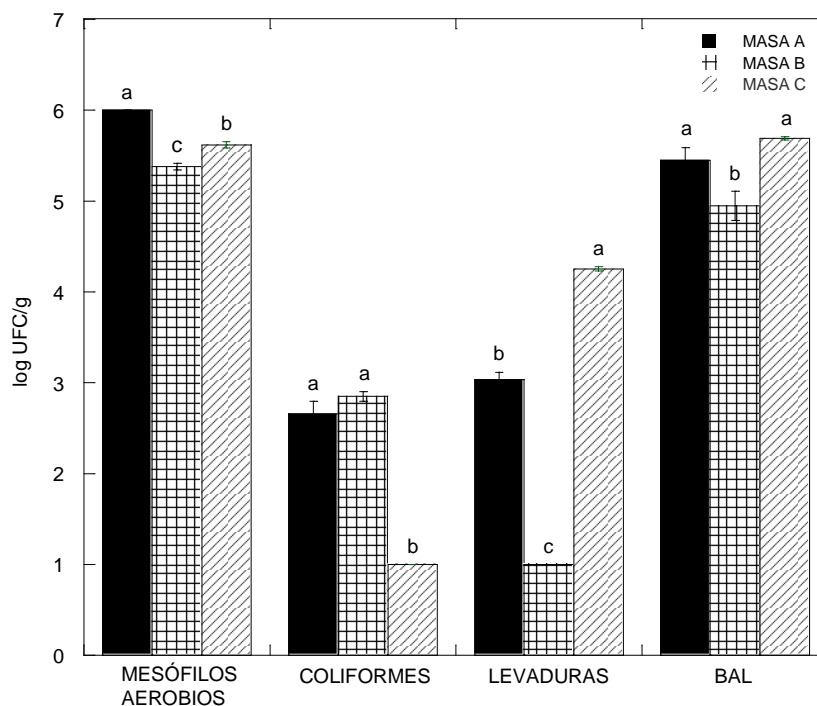


Figura 1. Comparación microbiológica de las masas de pópo (A, B y C).

El recuento de bacterias mesofílicas mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) de 6.00 ± 0.00 a 5.3792 ± 0.03 log UCF/g, se determinó que la masa A presentó el mayor recuento de éste grupo de bacterias lo que posiblemente se atribuya a la fuente de sustratos utilizados para su elaboración además este grupo se encuentra comúnmente en alimentos y bebidas fermentadas elaboradas a base de cereales y frutos. Resultados superiores ha sido estudiados por Álvarez-Ríos *et al.* 2020 en *pulque*, bebida tradicional fermentada elaborada a partir de la savia de agave. Durante los procesos de fermentación de alimentos y bebidas fermentados tradicionales la actuación sinérgica de las bacterias del ácido láctico y levaduras propician propiedades funcionales y sensoriales a los productos finales. En este sentido, la población de levaduras mostró valores de 4.25 ± 0.02 a $<1 \pm 0.00$ log UFC/g con diferencias significativas ($P < 0.05$) lo cual es favorable para estimular el crecimiento de bacterias ácido lácticas, ya que proporciona factores de crecimiento como compuestos de nitrógeno solubles y vitaminas (Adesulu-Dahunsi *et al.*, 2017). Recuentos ligeramente superiores (5.83 log UFC/g) fueron reportados por Piló *et al.* 2018 en chicha bebida espumosa de la región andina preparada a partir de cereales como maíz, arroz y avena.

Por otro lado, se registraron bacterias del ácido láctico en concentraciones que variaron de 5.68 ± 0.01 hasta 4.94 ± 0.15 log UFC/g con diferencias significativas ($P < 0.05$) siendo la masa C la que registró el mayor contenido, el recuento reducido podría estar relacionado a que las masas no se someten a un proceso fermentativo prolongado, sin embargo, es posible que dicha población derive del tiempo de remojo del arroz ya que la concentración de éste grupo fue superior (8.22 ± 0.1 log UFC/g), el cereal en estas condiciones actúa como un sustrato adecuado permitiendo la activación de la actividad enzimática (proteasas y amilasas) dando paso a la degradación de los gránulos de almidón a carbohidratos simples importantes como glucosa, sacarosa, maltosa y proteínas disponibles () que permitan sustentar el desarrollo BAL y levaduras. Enujiugha y Badejo, 2017 reportaron recuentos de BAL similares de 5.4 UFC/mL en *kwete* bebida de Uganda preparada base de cereales fermentados.

Los microorganismos coliformes únicamente fueron detectados en las masas de pópo A y B en concentraciones de 2.84 a 2.67 log UFC/g encontrándose diferencias significativas ($P < 0.05$), la supervivencia de estos microorganismos podría estar asociada a los valores de pH obtenidos en ambas masas (6.3 y 5.25) puesto que este grupo se desarrollan mejor a pH's cercanos a la neutralidad (desde 6.6 hasta 7.5) junto con otros factores como el proceso de elaboración, molienda y temperatura ambiente. La masa C, se considera microbiológicamente segura ya que el valor obtenido fue de <1 log UFC/g, esta concentración se encuentran dentro de las especificaciones sanitarias establecidas en la NOM-147-SSA1-1996 donde el límite máximo permisible para microorganismos coliformes es de 1.47 log UFC/g para alimentos de consumo elaborados a base de cereales.

Estos resultados están en concordancia con Adinsi *et al.* 2017 quienes reportaron una concentración de coliformes de 2.4-3.5 log UFC/g es muestras de Gowé bebida africana preparada a base de sorgo y maíz.

A pesar de que los alimentos fermentados son seguros para el consumo humano por la reducción de pH y la producción de ácido láctico son necesarias las prácticas básicas de seguridad alimentaria antes, durante y después de la fermentación ya que este proceso no debe reemplazar la práctica de los principios de higiene básicos durante el procesamiento de alimentos.

Trabajo a futuro

Evaluar las características físicas y químicas de las fases de fermentación así como el estudio de la variabilidad de las cinéticas de crecimiento microbiano. Este conocimiento permitirá la estandarización del proceso de producción para la obtención de una bebida con características organolépticas apropiadas incluyendo su seguridad microbiológica.

Conclusiones

Las bebidas fermentadas tienen un papel importante en la dieta y actividades culturales de la población de México. La flora microbiana, la fisicoquímica y la posible funcionalidad probiótica de las masas para preparar la bebida *pópo* no se ha estudiado con anterioridad. Este es el primer estudio que reveló por primera vez los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos ocurridos en las masas de *pópo* fermentadas espontáneamente. El proceso de remojo del arroz contribuye a estimular el crecimiento de las bacterias ácido lácticas al principio de la fermentación. En cuanto a los resultados obtenidos en la presente investigación en particular al recuento de microorganismos coliformes los cuales superan los límites establecidos en la NOM-147-SSA1-1996, se sugiere a los productores mejorar las prácticas inocuas durante la manipulación de las materias primas, elaboración y distribución de las masas de *pópo*, las cuales se hacen estrictamente necesarias para controlar peligros relacionados con la inocuidad alimentaria aun cuando se mantenga un proceso tradicional. Disponer de bebidas inocuas permite el bienestar y la salud de los consumidores, así como el aprovechamiento su valor nutricional.

Referencias

- [1] K. N. Ramírez-Guzmán *et al.*, "Traditional Fermented Beverages in Mexico", en *Fermented Beverages*, Elsevier, 2019, pp. 605-635. doi: 10.1016/B978-0-12-815271-3.00015-4.
- [2] Á. E. Rubio-Castillo, L. Santiago-López, B. Vallejo-Cordoba, A. Hernández-Mendoza, S. G. Sáyago-Ayerdi, and A. F. González-Córdova, "Traditional non-distilled fermented beverages from Mexico to based on maize: An approach to Tejuino beverage", *International Journal of Gastronomy and Food Science*, vol. 23, p. 100283, abr. 2021, doi: 10.1016/j.ijgfs.2020.100283.
- [3] I. Ortiz, V. Álvarez, G. González, L. Valenzuela, M. Potisek, y J. Chávez, "Concentración de almidón y proteínas solubles en tubérculos de *Caladium bicolor* en diferentes etapas fenológicas" *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 6(3): 483-494.
- [4] J. de Almeida Silva Vilela, L. de Figueiredo Vilela, C. L. Ramos, and R. F. Schwan, "Physiological and genetic characterization of indigenous *Saccharomyces cerevisiae* for potential use in productions of fermented maize-based-beverages", *Braz J Microbiol*, vol. 51, n.o 3, pp. 1297-1307, sep. 2020, doi: 10.1007/s42770-020-00271-8.
- [5] L. Freire, C. L. Ramos, P. N. da Costa Souza, M. G. B. Cardoso, and R. F. Schwan, "Nondairy beverage produced by controlled fermentation with potential probiotic starter cultures of lactic acid bacteria and yeast", *International Journal of Food Microbiology*, vol. 248, pp. 39-46, may 2017, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2017.02.011.
- [6] C. N. Lange *et al.*, "Mineral profile exploratory analysis for rice grains traceability", *Food Chemistry*, vol. 300, p. 125145, dic. 2019, doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125145.
- [7] K. Banwo, A. Oyeyipo, L. Mishra, D. Sarkar, and K. Shetty, "Improving phenolic bioactive-linked functional qualities of traditional cereal-based fermented food (*Ogi*) of Nigeria using compatible food synergies with underutilized edible plants", *NFS Journal*, vol. 27, pp. 1-12, jun. 2022, doi: 10.1016/j.nfs.2022.03.001.
- [8] K. Robledo-Márquez, V. Ramírez, A. F. González-Córdova, Y. Ramírez-Rodríguez, L. García-Ortega, y J. Trujillo, «Research opportunities: Traditional fermented beverages in Mexico. Cultural, microbiological, chemical, and functional aspects», *Food Research International*, vol. 147, p. 110482, sep. 2021, doi: 10.1016/j.foodres.2021.110482.

- [9] N. Sharma, S. Angural, M. Rana, N. Puri, K. K. Kondepudi, and N. Gupta, "Phytase producing lactic acid bacteria: Cell factories for enhancing micronutrient bioavailability of phytate rich foods", *Trends in Food Science & Technology*, vol. 96, pp. 1-12, feb. 2020, doi: 10.1016/j.tifs.2019.12.001.
- [10] P. K. Maakelo, G. Bultosa, R. I. Kobue-Lekalake, J. Gwamba, and K. Sonno, "Effects of watermelon pulp fortification on maize mageu physicochemical and sensory acceptability", *Heliyon*, vol. 7, n.o 5, p. e07128, may 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07128.
- [11] D. C. Paricanaza-Ticona, "Evaluación de las características químicas, físicas, sensoriales, funcionales y vida útil de una bebida a base de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) y tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*)", Universidad Nacional del Altiplano, mayo de 2022, Accedido: 2 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/18404>.
- [12] G. D. Álvarez-Ríos, C. J. Figueredo-Urbina, and A. Casas, "Physical, Chemical, and Microbiological Characteristics of Pulque: Management of a Fermented Beverage in Michoacán, Mexico", *Foods*, vol. 9, n.o 3, p. 361, mar. 2020, doi: 10.3390/foods9030361.
- [13] A. T. Adesulu-Dahunsi, A. I. Sanni, K. Jeyaram, y K. Banwo, «Genetic diversity of *Lactobacillus plantarum* strains from some indigenous fermented foods in Nigeria», *LWT - Food Science and Technology*, vol. 82, pp. 199-206, sep. 2017, doi: 10.1016/j.lwt.2017.04.055.
- [14] F. B. Piló *et al.*, "Saccharomyces cerevisiae populations and other yeasts associated with indigenous beers (chicha) of Ecuador", *Brazilian Journal of Microbiology*, vol. 49, n.o 4, pp. 808-815, oct. 2018, doi: 10.1016/j.bjm.2018.01.002.
- [15] Victor. N. Enujiugha, and A. A. Badejo, "Probiotic potentials of cereal-based beverages", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 57, n.o 4, pp. 790-804, mar. 2017, doi: 10.1080/10408398.2014.930018.
- [16] L. Adinsi *et al.*, "Comprehensive quality and potential hazards of gowe, a malted and fermented cereal beverage from West Africa. A diagnostic for a future re-engineering", *Food Control*, vol. 82, pp. 18-25, dic. 2017, doi: 10.1016/j.foodcont.2017.06.019.

Obtención y caracterización morfológica de películas de almidón de sorgo, reforzadas con NCC y NPP

I.G. Ruiz Martínez¹, E.Y. Arizmendi Giles¹, J.L. Rivera Corona², J. Solorza Feria^{1*}

¹Instituto Politécnico Nacional, CEPROBI. Km 6 Carretera Yautepec-Jojutla, Calle Ceprobi 8, Col. San Isidro. C.P. 62731. Yautepec, Morelos, México

²Universidad Politécnica del Estado de Morelos, UPEMOR. Boulevard Cuauhnáhuac 566, Col. Lomas del Texcal. CP 62550. Jiutepec, Morelos, México.

*jsolorza@ipn.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El almidón de sorgo es un material versátil de alta biodisponibilidad y biodegradabilidad, que además posee bajos costos de procesamiento y operación; sin embargo, sus propiedades fisicoquímicas no son particularmente efectivas. Se sabe que los nanocristales de celulosa (NCC) y nanopartículas de plata (NPP), se han adicionado como materiales de refuerzo a matrices poliméricas. Como ejemplo, se ha demostrado que los nanomateriales mejoran las propiedades físicas, fisicoquímicas y mecánicas de matrices poliméricas del almidón termoplástico (AT). El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la adición de 0.065g NPP y 1, 3 y 5 g de NCC/100g respectivamente de solución de sorgo, sobre las propiedades morfológicas de las películas de AT. Las películas adicionadas con NPP y NCC se elaboraron por el método de casting y se caracterizaron por análisis de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). La adición de NPP mostró cambios morfológicos sobre las superficies de películas de AT, incrementando la porosidad de su superficie con aglomeraciones. La adición de NCC no mostró efectos significativos sin la presencia de NPP, sobre el mejoramiento de las propiedades evaluadas de las películas de AT.

Palabras clave: Sorgo, Almidón Termoplástico, Nanoestructuras, Morfología.

Abstract

Sorghum starch is a versatile material with high bioavailability and biodegradability, which also has low processing and operating costs; however, its physicochemical properties are not particularly effective. Cellulose nanocrystals (NCC) and silver nanoparticles (NPP) are known to have been added as reinforcing materials to polymeric matrices. As an example, nanomaterials have been shown to improve the physical, physicochemical and mechanical properties of polymeric matrices from thermoplastic starch (TA). The objective of this work was to determine the effect of the addition of 0.065g NPP and 1, 3 and 5 g of NCC/100g of sorghum solution, respectively, on the morphological properties of TA films. The films added with NPP and NCC were made by the casting method and characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis. The addition of NCC did not show significant effects without the presence of NPP, on the improvement of the evaluated properties of the TA films.

Key words: Sorghum, Thermoplastic Starch, Nanostructures, Morphology.

Introducción

El abuso en el uso y aplicación de plásticos de polímeros de síntesis orgánica, representa un factor importante de contribución al deterioro ambiental del planeta, contaminando por efecto de la poca o nula implementación de transformación de residuos plásticos. Además, se estima una producción mundial de más de 600 millones de toneladas de plásticos para el año 2030, por lo que es necesario establecer y regular con mayor criterio políticas para los gobiernos y compromisos para los sectores productivos, en lo que se refiere a las responsabilidades sociales, económicas y ambientales de generación de productos plásticos [1]. La gestión de los residuos plásticos se ha aplicado para solventar la actual problemática ambiental por desechos plásticos. Para ello, se han adoptado varias estrategias para el manejo de desechos plásticos, entre las que se incluyen: reciclaje, depósito en vertederos, incineración, degradación microbiana y conversión en materiales útiles. Sin embargo, el reciclaje de plásticos es una práctica muchas veces costosa y que puede resultar tediosa debido a la recolección, clasificación

y procesamiento de residuos plásticos. Además, los productos reciclados muchas veces son de menor calidad, lo que los limita respecto a ciertas aplicaciones. La dificultad de gestionar residuos de plásticos sintéticos ha impulsado al estudio de nuevos materiales biodegradables. Los bioplásticos han sido utilizados en las últimas décadas como una estrategia salubre y ambiental ante la problemática actual del consumo de plásticos sintéticos. El bioplástico se define como aquel material que es biodegradable, es decir, que los microorganismos lo pueden desintegrar en dióxido de carbono, agua y composta, o bien, que su polímero principal proviene de una fuente biológica o recurso renovable, el cual se deriva de la biomasa a partir de la celulosa de las plantas como ejemplos el maíz y la caña de azúcar.

Las preocupaciones ambientales mencionadas anteriormente y la escasez de recursos fósiles (como lo demuestra el acercamiento al máximo de producción de petróleo, por ejemplo), han motivado hacia la investigación de biomateriales en aplicaciones no alimentarias, como el caso del almidón. La utilización de los biomateriales ha experimentado un desarrollo considerable en las últimas décadas. El almidón se destaca por tener ventajas tales como bajo costo, amplia disponibilidad y totalmente compostables sin residuos tóxicos. Mediante el uso de técnicas convencionales de procesamiento de polímeros, el almidón como muchos otros polímeros, se puede producir en diferentes formas de acuerdo al uso final del artículo, a través de diversos métodos de conformado como los extruidos, moldeados, termoformados o soplados.

Algunas de las principales propiedades de los bioplásticos son las físicas (mecánicas), fisicoquímicas, estructurales, de barrera y reológicas, las cuales buscan alcanzar las propiedades de los plásticos convencionales con respecto a la humedad, transparencia, termoplaticidad, estabilidad de mezclas y resistencia, siendo afectadas de acuerdo a las características de sus componentes, las condiciones de secado y con las condiciones de almacenamiento en las que se trabajó, así como del espesor final de las mismas. Estas propiedades han sido evaluadas y desarrolladas, por medio de temas de estudio en biomateriales y bionanoestructuras compuestas.

El análisis sistemático de la morfología, es una de las propiedades estructurales que de manera general se les realizan a las películas elaboradas a partir de fuentes inorgánicas y orgánicas, estas últimas de origen biológico como el almidón de sorgo, maíz, papa, quitosano, proteína, gelatinas, entre otros. Se han realizado estudios morfológicos de películas de almidón termoplástico (AT) a partir de análisis MEB, mostrando evidencia de la estructura de superficie de películas y espesor, con aditivos de reforzamiento y control, como los nanocristales de celulosa (NCC). Li y col. [2] reportaron estudios sobre películas de almidón de pera con 30% de glicerol, mostrando superficies lisas y compactas al adicionarse porcentajes de entre 1 – 5 % de nanocristales de almidón, por el contrario, las irregularidades en superficie se observaron a valores mayores del 7% de nanocristales de almidón. De igual manera, se han reportado superficies homogéneas a partir de películas de AT de papa, maíz y pera, con 5% de NCC y 30% de glicerol [3], mientras que estudios recientes revelaron los efectos de altos niveles de glicerol (50%) en películas de almidón de maíz ceroso con 2.5% de nanocristales de almidón, mostrando mayor heterogeneidad y daños sobre la superficie, asociados a la mayor interacción entre NCC y el glicerol. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la adición de nanopartículas de plata y nanocristales de celulosa a soluciones de sorgo, sobre las propiedades morfológicas de las películas de almidón termoplástico resultantes. En consecuencia se determinó el efecto de la adición de 0.065g NPP y 1, 3 y 5 g de NCC/100g respectivamente de solución de sorgo, sobre las propiedades morfológicas de las películas de AT.

Metodología

Materiales

Los materiales utilizados para este estudio fueron: 5 kg de semillas de sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*) y 500 g de residuos agroindustriales de fibra de penca de agave (*Agave tequilana*), proporcionadas por el laboratorio de ingeniería de la Universidad Politécnica del Estado de Morelos (UPEMOR). Glicerol (grado analítico, Sigma-Aldrich, EE. UU.). Se usó agua destilada en todas las formulaciones.

Técnica de análisis morfológico y estructural por MEB

A través de la técnica de MEB se caracterizaron gránulos de almidón de sorgo, NCC, así como películas de almidón termoplástico de sorgo adicionadas con NPP y NCC elaboradas para cada película o condición, mediante un Microscopio Electrónico de Barrido Ambiental modelo Carl Zeiss, EVO LS10, Alemania, con un detector de electrones retrodispersados (BSD). Las condiciones de voltaje, magnificación y presión se especifican en cada sección. Los estudios se realizaron por triplicado. Todas las imágenes fueron capturadas en formato TIFF a 1024

x 768 pixeles, analizadas con ayuda del software Image J v 1.34s (National Institute of Health, Bethesda, MD, USA).

Resultados y discusión

Análisis morfológico y estructural de gránulos de almidón de sorgo

En la Figura 1 se observan fotomicrografías con las características de morfología y tamaño de partícula del almidón extraído del sorgo, mediante microscopía electrónica de barrido. Los gránulos de almidón de sorgo presentaron morfología poliédrica de superficie lisa asociada al alto nivel de pureza, consistente con lo reportado por Singh y col. [4], para la misma especie de *Sorghum bicolor* L. Moench, mientras que otras fuentes de obtención de almidón presentaron formas ovaladas o esféricas, así como de superficies suaves o poligonales.

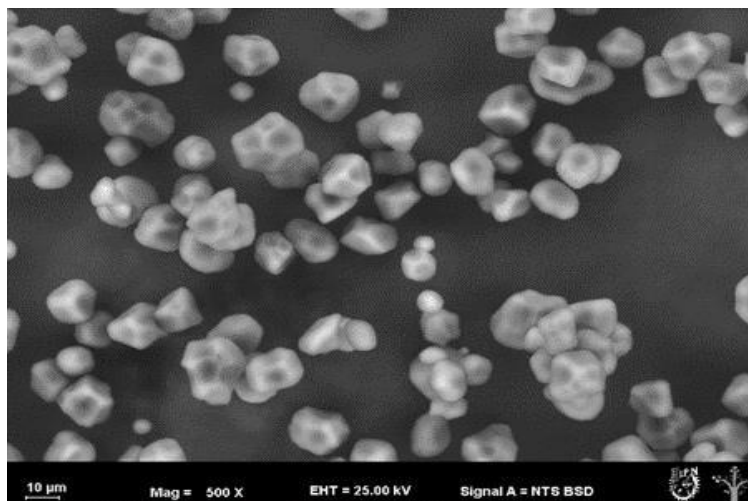


Figura 1. Micrografía electrónica de barrido de gránulos de almidón de sorgo *Sorghum bicolor* L. Moench, tamizado en malla No. 325. Magnificación de 500 x, sin tratamiento, BSD y 25.00 kV.

Por otro lado, se realizó el análisis de distribución del tamaño de gránulo de almidón de sorgo para 550 partículas. Los análisis estadísticos de los datos obtenidos mostraron una distribución gaussiana normal de los tamaños de gránulos de almidón de sorgo en un intervalo de 2 - 25 μm (Figura 2), con un promedio de 12.44 μm (Tabla 1), el cual se encuentra dentro del intervalo reportado por Boudries y col. [5] para la misma especie y de manera general entre intervalos de gránulos de almidón para diversas fuentes de obtención en cereales. Esto indica que las partículas de gránulos de almidón con una moda de 15 μm , presentan mayor interacción de enlaces intermoleculares para desarrollar la formación de la matriz polimérica.

Tabla 1. Análisis estadístico del tamaño de partícula de almidón de sorgo.

Material	Promedio (μm)	Desviación estándar	Min	Max	Número de muestras
Almidón	12.44	3.40	2.41	25	550

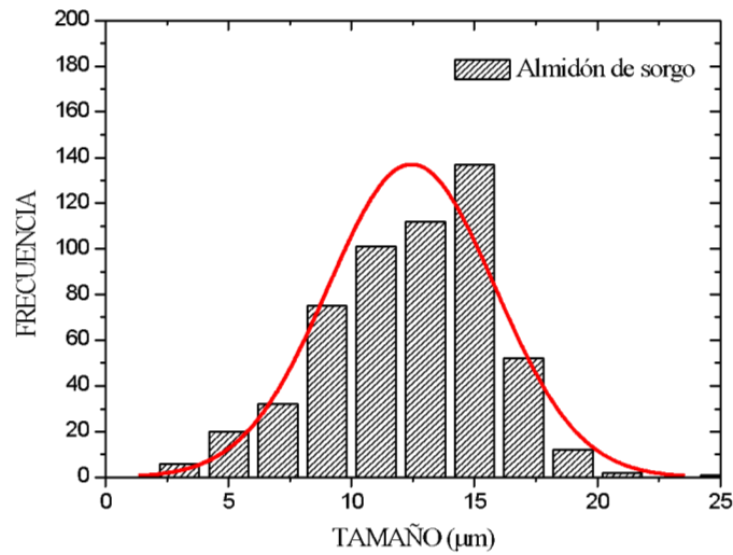


Figura 2. Distribución del tamaño de partícula de gránulos de almidón de sorgo. *Sorghumbicolor* L. Moench, Tamizado en malla No. 325.

Análisis morfológico y estructural de NCC

La morfología de NCC extraídos de fibra de *Agave tequilana*, mostró partículas alargadas y de superficie poliforme (Figura 3); esta descripción es consistente con morfologías descritas para NCC obtenidos por hidrólisis ácida utilizando ácido sulfúrico. No obstante, la fuente biológica de obtención también proporciona características morfológicas determinantes en NCC.

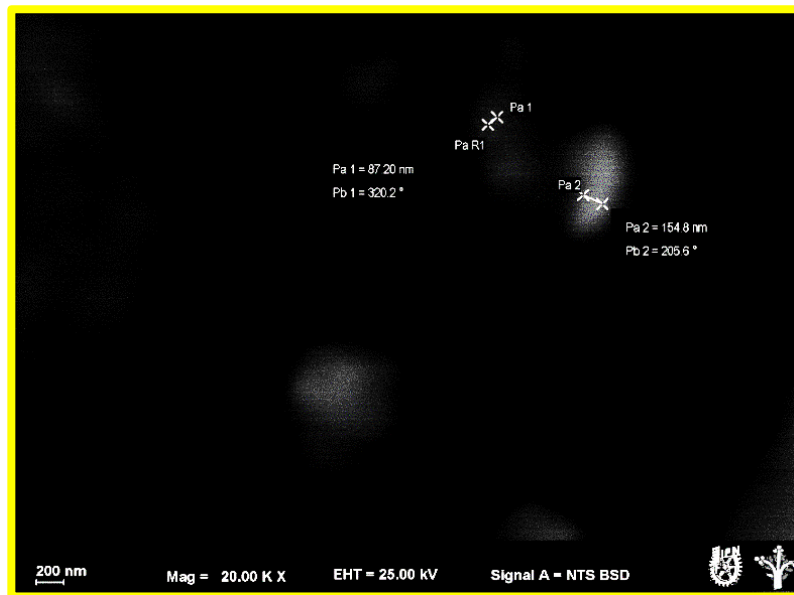


Figura 3. Micrografía electrónica de barrido de Nanocristales de Celulosa (NCC) de fibra de *Agave tequilana*, Tamizado en malla No. 325. Magnificación de 20000 x, sin tratamiento, BSD y kV. b) Distribución del tamaño de NCC.

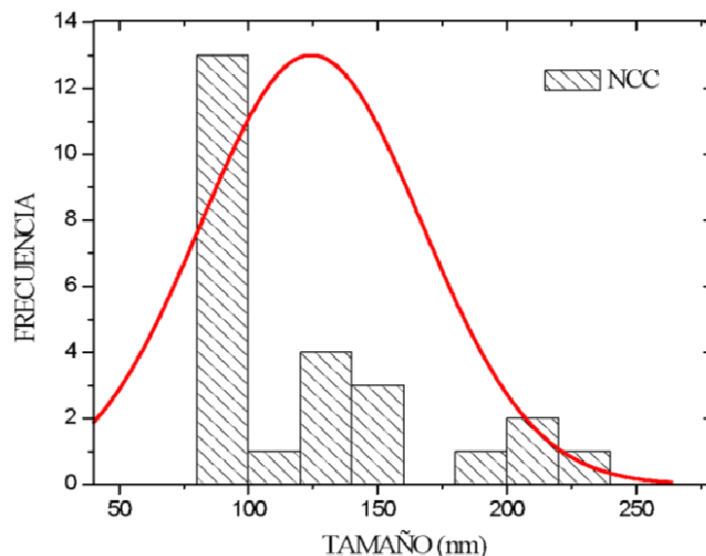


Figura 4. Distribución del tamaño de NCC Nanocristales de Celulosa (NCC) de fibra de *Agave tequilana*, Tamizado en malla No. 325.

Los datos obtenidos de la dimensión de longitud de los NCC extraídos mostraron una distribución de tamaños de tipo gaussiana sesgada a la izquierda para valores menores de 150 nm de longitud de los cristales. El histograma de distribución (Figura 4) se realizó para un intervalo de medición de datos obtenidos, se desarrolló entre 50 y 250 nm. Los NCC extraídos presentaron una longitud promedio de 124 ± 3.4 nm, estos valores se muestran por debajo de lo reportado para NCC obtenidos a partir de *Agave tequilana* y de *Agave angustifolia*, lo cual indica que las metodologías aplicadas tienen efecto sobre el diámetro y longitud de las NCC. De acuerdo con lo descrito anteriormente, los NCC extraídos en este trabajo cumplen con las características físicas de dimensiones nanoscópicas, así como de funcionalidades químicas de interacción molecular, las cuales han demostrado características de reforzamiento de materiales, como en la mejora de las propiedades mecánicas de matrices poliméricas naturales.

Caracterización morfológica de películas de AT

El análisis de la caracterización morfológica de películas de AT de sorgo, con adición de NPP y NCC se observa en la fotomicrografía de la Figura 5. Las partículas de AT extraído permiten obtener películas estables y de morfología uniforme, con pequeños puntos blancos referentes a la aglomeración del AT (Figura A y C, flechas amarillas), mientras que por otro lado, las aglomeraciones por efecto de la concentración de las NPP en la matriz mostraron superficies irregulares con amplios poros que permiten ver las cavidades dentro de la matriz celular (Figura B, E y F, círculos rojos).

Las películas P1 mostraron superficies lisas y uniformes, con mínima presencia de gránulos de almidón (puntos blancos más pequeños), revelando que la concentración de glicerol (35% p/p) utilizada fue favorable para la interacción intermolecular e intramolecular entre el AT de sorgo y el glicerol (Figura A), consistente con topografías de superficie reportadas por Montero y col. [3], quienes trabajaron con la misma proporción de glicerol del 35% implementada en películas de AT de papa, maíz y chícharo.

La adición de NCC en P3 mantuvo similitudes sobre la capacidad termoplástica del almidón de sorgo con respecto a películas P1, así como de la morfología de textura suave y homogénea de la superficie (Figura C), lo cual es consistente con los resultados obtenidos de manera similar sobre el porcentaje de solubilidad, donde no se encontraron diferencias significativas en esta propiedad fisicoquímica con respecto a P1.

Por otra parte, la adición de NPP provocaron superficies porosas e irregulares, con porosidades irregulares sobre la matriz polimérica (Figura B, E y F, círculos rojos) por efecto de las interacciones entre las regiones catiónicas de los grupos funcionales de AT y del plastificante. La adición específicamente de 0.065g de NPP se basa en la revisión de literatura realizada a partir de trabajos enfocados en la obtención y adición de NPP como material reforzante y comprobada con estudios reológicos previos realizados a las soluciones filmogénicas como parte de este trabajo, los resultados indicaron que la concentración de 0.065g de NPP/100g, es suficiente y apropiada para elaborar soluciones filmogénicas al 3% de TPS con valores de viscosidad similares a soluciones filmogénicas del control.

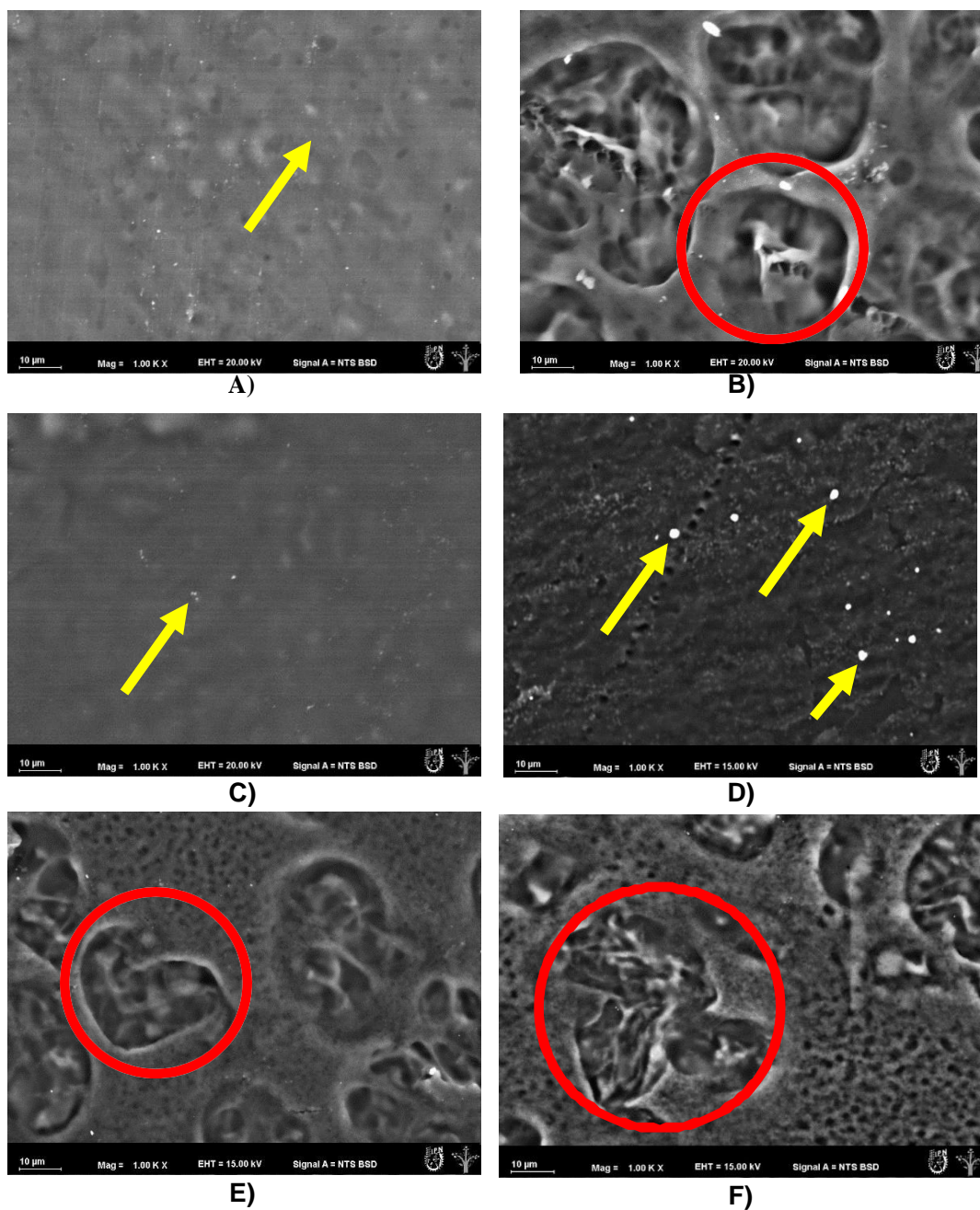


Figura 5. Fotomicrografías de películas de AT de sorgo. A) P1; B) P2; C) P3; D) P4; E) P5; F) P6. Magnificación de 1000 x, sin tratamiento, BSD y 15.00 kV.

Trabajo a futuro

Aunque se obtuvieron algunos resultados interesantes en estas películas de biopolímeros, se necesita más investigación para caracterizar las propiedades adicionales como las mecánicas, de barrera y térmicas de las matrices poliméricas estudiadas (películas). Además, la aplicación de tales biopelículas en empaques debe ser el objetivo para futuros trabajos.

Conclusiones

En este trabajo, se logró analizar y caracterizar la morfología y estructura de macropartículas de almidón de sorgo, presentando un tamaño de partícula del orden de 12 μm . Además la adición de NPP mostró cambios morfológicos sobre las superficies de películas de AT, incrementando la porosidad de su superficie con aglomeraciones. La adición de NCC no tuvo efectos significativos sin la presencia de NPP, sobre el mejoramiento de las morfologías evaluadas de las películas de AT. De los resultados obtenidos las películas P3 (1.5 g NCC) y P5 (1.5 g de NCC, 0.65g NPP y 0.205 g de maltosa) cumplen con las cantidades idóneas de NPP y NCC para poder obtener biopelículas que se pudieran aplicar en empaques, ya que se obtuvieron películas completas, flexibles y resistentes.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo del Instituto Politécnico Nacional en México (COFAA, EDI, SNI) a través del proyecto SIP20221319.

Referencias

- [1] Ospina, S, "Biopolymers and its application on environment," *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. 17, no 2, pp. 5-6, 2015.
- [2] Sun, Q., Sun, C., and Xiong, L, "Mechanical, barrier and morphological properties of pea starch and peanut protein isolate blend films," *Carbohydrate polymers*, vol. 98, no 1, pp. 630-637, 2013.
- [3] Montero, B., Rico, M., Rodríguez-Llamazares, S., Barral, L., and Bouza, R, "Effect of nanocellulose as a filler on biodegradable thermoplastic starch films from tuber, cereal and legume," *Carbohydrate polymers*, vol. 157, p. 1094-1104, 2017.
- [4] Singh, H., Sodhi, N. S., y Singh, N, "Estructura y propiedades funcionales del almidón de sorgo diluido con ácido," *Revista Internacional de Propiedades de los Alimentos*, vol. 12, no. 4, pp. 713–725, 2009.
- [5] Boudries, N., Nadjemi, B., Belhaneche-Bensemra, N., and Sindic, M, "Morphological and thermal properties of starches isolated from white and pigmented sorghum landraces grown in hyper arid regions," *Journal of Agricultural Science and Technology*, vol. 4, 2014.

Caracterización morfológica y reológica de emulsiones aceite de naranja/ β -caroteno en agua estabilizadas con nanofibras de celulosa (NFC).

D. Cruz-Velasco¹, A. Aguirre-Cruz^{2*}, J. Capataz-Tafur³, A. Aparicio-Saguilán³, M. A. García-Muñoz³.

¹ División de Estudios de Postgrado, Maestría en Biotecnología. Universidad del Papaloapan. Av. Circuito Central 200, Col. Parque Industrial, C.P. 68301, Tuxtepec, Oax. México.

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Calzada Dr. Víctor Bravo Ahuja No. 561, Col. Predio el Paraíso, C.P. 68350, Tuxtepec, Oax. México.

³ Instituto de Biotecnología, Universidad del Papaloapan. Av. Circuito Central 200, Col. Parque Industrial, C.P. 68301, Tuxtepec, Oaxaca, México.

*antarcruz@hotmail.com

Área de participación: Ingeniería Química (Arial 9)

Resumen

Se realizó un estudio morfológico y reológico de las emulsiones formuladas con aceite de naranja/ β -caroteno en agua (AcN- β C/W), estabilizadas con nanofibras de celulosa (NFC). El objetivo fue evaluar la formación de las emulsiones preparadas con diferentes concentraciones de CNF mediante homogenización ultrasónica, midiendo el tamaño de gota y su comportamiento reológico. Las emulsiones (AcN- β C/W), sin etanol presentaron estructuras en forma de racimos de gotas, con un tamaño variable que fue de 2 a 20 μ m. Por el contrario, las emulsiones con etanol presentaron tamaños de gotas más homogéneas (2 a 4 μ m). El comportamiento reológico de las emulsiones fue predominante para módulo elástico (G'). Sin embargo, al incrementar la concentración de NFC estos módulos (G' y G'') se invierte dominando en este caso del módulo viscoso (G''). La eficiencia de encapsulación de la sustancia activa (β -caroteno) sin etanol fue de 83.2 a 87.2 %, y con etanol fue de 85.4%.

Palabras clave: Emulsiones pickering, nanofibras de celulosa y encapsulación de β -carotenos

Abstract

A morphological and rheological study was carried out on the emulsions formulated with orange oil/ β -carotene in water (OO/ β C/W), stabilized with cellulose nanofibers (CNF). The objective was to evaluate the formation of the emulsions prepared with different concentrations of CNF through ultrasonic homogenization, measuring the droplet size and its rheological behavior. The emulsions (OO/ β C/W), without ethanol, were presented in the form of clusters of drops, with a variable size ranging from 2 to 20 μ m. On the contrary, the ethanol emulsions showed more homogeneous droplet sizes (2 to 4 μ m). The rheological behavior of the emulsions was predominant for elastic modulus (G'). However, when increasing the concentration of CNF these modules (G' and G'') are inverted, dominating in this case the viscous modulus (G''). The encapsulation efficiency of the active substance (β -carotene) without ethanol was 83.2 to 87.2%, and with ethanol it was 85.4%.

Key words: Pickering emulsions, cellulose nanofibers and encapsulation of β -carotenos

Introducción

El β -caroteno es un metabolito secundario perteneciente a la familia de los carotenoides, presente en diversas frutas y verduras, principalmente en espinacas, brócoli, pimiento rojo, perejil, guayaba rosada, calabaza, melón y zanahorias [1]. Nutriente indispensable para la salud humana debido a sus beneficios, como por ejemplo ayuda a mantener los niveles de colesterol en la sangre previniendo diversas enfermedades cardiovasculares, en combinación con otros carotenoides proporciona el 50% de la vitamina A necesaria en la dieta humana [2,3], reduce el riesgo de padecer

diabetes [4], fortalece el sistema inmunológico [5], posee actividad anticancerígena [6], antiinflamatoria [7] y puede prevenir diversas enfermedades crónicas asociadas con la producción de radicales libres [8]. Sin embargo, este compuesto es lábil, debido a que es fácilmente oxidable y altamente sensible a la temperatura y luz [9] provocando cambios en su estructura como ciclación, pérdida y migración de los dobles enlaces que afectan su actividad biológica. Ante estos factores la incorporación del β -caroteno como ingrediente en alimentos es un aspecto complejo y es por ello que algunas investigaciones están enfocadas en la búsqueda de alternativas viables para la protección u conservación del mismo.

Una alternativa para resolver esta problemática es aprovechar la compatibilidad del β -caroteno con aceites de grado alimenticio mediante la formulación de emulsiones aceite en agua (O/W) y su posterior recubrimiento empleando un agente tensoactivo para la generación de emulsiones, estableciendo un microambiente dentro de la emulsión capaz de regular las interacciones entre la parte externa e interna, favoreciendo la protección del compuesto activo ante diversos factores químicos, físicos o biológicos. Estudios previos han reportado la encapsulación de β -caroteno en emulsiones O/W empleado distintos agentes surfactantes como estabilizadores, destacando distintos tipos de proteínas [10], gomas [11], alginato de sodio [12], almidón nativo y modificado [13], polivinilpirrolidona [14], maltodextrinas [15]. Sin embargo, la mayoría de los agentes surfactantes empleados son proteínas y carbohidratos fácilmente digeribles que presentan cierto grado de inestabilidad ante factores como el pH y la temperatura, además de no ser ecológicos.

Los nanocristales de celulosa (NCC) y nanofibras de celulosa (NFC), han atraído mucha atención en la actualidad, especialmente en el aspecto ecológico o por ser nanocompuestos ecológicos [16], debido a su gran capacidad para usarlos como emulsionantes sólidos en emulsiones O/W. Las CNF tienen propiedades de superficie anfífilas que le confieren la facilidad de acoplarse a compuestos de diferente polaridad, resistencia a diversos compuestos químicos, estabilidad térmica y presentan actividad antimicrobiana, por esta razón son candidatos idóneos para la formulación de como emulsionantes O/W ecológicos y sostenibles [17]. Por otro lado, el estudio del comportamiento reológico y morfología de una emulsión ayuda mucho a entender y poder dilucidar las posibles interacciones entre sus componentes, así como también la estabilidad del sistema formado. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue obtener microemulsiones O/W con extractos ricos en β -caroteno estabilizadas con nanofibras de celulosa (NFC) empleando la técnica de homogenización ultrasónica y evaluarlas el comportamiento reológico y su morfología.

Metodología

Materiales

El n-hexano (99% de pureza), etanol (99% de pureza), aceite de naranja (99 % de pureza), rojo de Nilo y estándar de β -caroteno (95-99% de pureza) fueron adquiridos grado analítico y de la marca Sigma-Aldrich en el caso del agua bidestilada para la preparación de las emulsiones se utilizó de la marca MEYER (sin impurezas).

Extracción de las nanofibras de celulosa

Las fibras de celulosas fueron extraídas a partir del raquis de plátano variedad macho, después se colocaron en un matraz con agua destilada con una relación de 1: 2.5 v/p. La dispersión fue a sonicación utilizando un equipo de ultrasonido (Marca; Hielscher UP200St-TD, Ringwood, N. J, EE. UU.), durante 40 min con una potencia del 80%, amplitud del 20% y se utilizó un sonotrodo de titanio de 7 mm. Después del proceso de sonicación, se obtuvo una solución clara de las fibras y se almacenó a 4 °C.

Formación de la emulsión aceite en agua (O/W).

La formulación de las emulsiones se llevó a cabo en dos etapas; En la primera se preparó la emulsión gruesa, la cual se realizó (Ver figura 1) de la siguiente manera: En esta la fase oleosa o aceite naranja al 4% (en relación con la fase acuosa) y β -carotenos se mezcló con la fase acuosa (agua bidestilada) para posteriormente incorporar las CNF a diferentes concentraciones (ver Tabla 1) con la ayuda de un homogeneizador de alta velocidad (Ultra-Turrax) a 10000 rpm, durante 4 min a temperatura ambiente (25 °C). La en segunda etapa consistió en la preparación de la emulsión a partir de la emulsión gruesa anterior, de la cual se utilizaron 40 mL y etanol a 30 μ L/mL. La muestra fue llevada a homogenización con ayuda de un equipo de ultrasonido (Hielscher UP200St de 200 W), utilizando un sonotrodo de titanio 26 mm de diámetro. En este se emplearon diferentes potencias (60 y 80 W), tiempos de sonicación (5 y 10 min) y dos concentraciones de CNF 1 y 2 mg/mL, con el objetivo de buscar la formulación que brindara las emulsiones de menor tamaño de gota y estabilidad.

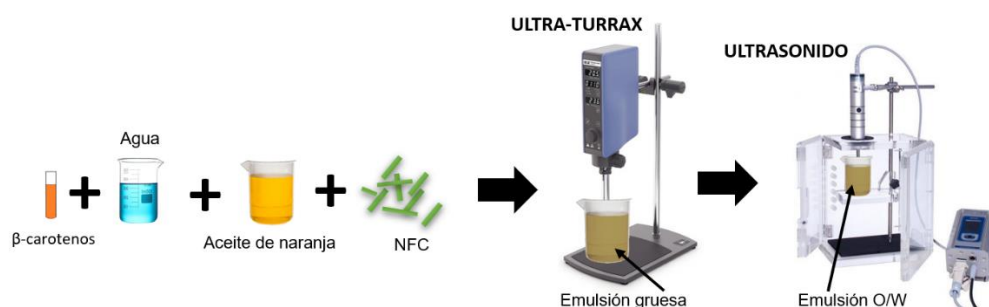


Figura 1. Representación esquemática del proceso para la formación de una emulsión O/W a partir de aceite de naranja, β -carotenos, agua y nanofibras de celulosa (NFC).

Tabla 1. Elaboración de emulsiones con diferentes concentraciones de nanofibras de celulosa (CNF).

<i>Emulsiones</i>	<i>Concentración de CNF [mg/mL]</i>
1	0.5
2	1.0
3	2.0
4	0.5

Caracterización morfológica de las emulsiones

La morfología de la emulsión se detectó utilizando un microscopio óptico (Nikon-FCM1000), para la preparación de la muestra, se tomaron 10 μ L de las emulsiones y se colocó sobre un portaobjetos cubriéndolas con un cubreobjetos, adicionando rojo de Nilo el cual se disolvió previamente en DMSO.

Análisis del comportamiento de las emulsiones

Las pruebas reológicas de las emulsiones se realizaron en un reómetro rotacional DHR-2 (TA Co., EE. UU.). Utilizando la geometría de placas paralelas (diámetro de 40 mm a 20 °C). Antes de su análisis, todas las muestras se mantuvieron durante 5 min para eliminar el historial de flujo residual y posteriormente se evaluaron a diferentes esfuerzos de corte. Los barridos de frecuencia dinámica se efectuaron bajo una tensión del 1% y se registró la respuesta del esfuerzo de corte oscilatorio de baja amplitud. Los barridos de deformación oscilatoria se realizaron a frecuencias predeterminadas (0.01–1Hz). Las pruebas de fluencia y recuperación de fluencia se realizaron con un nivel de tensión de 3Pa, que se encontraba dentro de la región de flujo newtoniano determinada a través del barrido de cizallamiento en rampa. Todas las pruebas fueron realizadas por triplicado [18].

Resultados y discusión

Análisis de microscopía óptica de las emulsiones

En la Figura 2 se muestran las micrografías de la emulsión O/W que mejor resultado presentó en tamaño de gota, preparadas por emulsificación ultrasónica (con y sin etanol) y estabilizadas con una concentración de CNF de 1 mg/mL, potencia (60 W) y un tiempo de emulsificación de 10 min.

En estas imágenes se aprecia la presencia de pequeñas gotitas (2 a 10 μm) de color oscuro que confirma que las NFC recubrieron el núcleo activo y tuvieron la capacidad de estabilizar emulsiones O/W de manera eficiente debido a su propiedad anfifílica que origina una cara hidrofóbica y borde hidrofílico de las cadenas de celulosa [19]. La incorporación de etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) en la formulación dio como resultado emulsiones con tamaños de gota más homogéneos (1 a 5 μm).

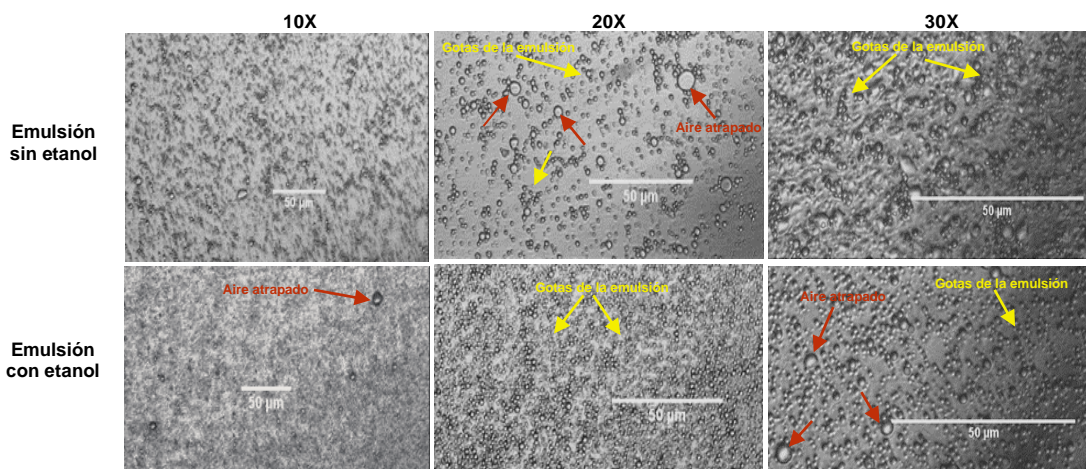


Figura 2. Micrografías ópticas de las emulsiones aceite de naranja en agua estabilizada con CNF (1 mg/mL), con y sin etanol a diferentes aumentos.

Lu et al., [18] reportaron que el uso de dos tipos de NFC para la formulación de una emulsión, NFC pequeñas en formas de varillas las cuales estabilizan mejor una emulsión, debido a que son más flexibles y se adhieren mejor en la superficie del núcleo activo para la formación de una emulsión estable. Por el contrario, NFC más gruesas o voluminosas de mayor tamaño, pueden retener o anclar a varias gotas emulsificadas dando origen a estructuras de forma de racimo de uvas. Cuando el

proceso de emulsificación por ultrasonido se llevó a 10 min se observó que las estructuras en forma de racimos de gotas disminuyeron, formulándose gotas más dispersas y con un tamaño más homogéneo, independientemente de la concentración de NFC. Esto es importante ya que demuestra que el tiempo de sonicación influye en la formulación del sistema emulsionado, ya que a mayor tiempo de sonicación (10 min) menor es el tamaño de gotas en una emulsión y por ende presentará mejor homogeneidad. Esto es atribuido a la fuerza de disruptiva durante el proceso de homogenización ultrasónica, en la cual se generan fuerzas de cizallamiento sobre las gotas de aceite y esto es más efectivo al aumentar el tiempo (5 a 10 min) y disminuir la potencia (80 a 60 W). Este efecto de cizallamiento provoca la ruptura de los glóbulos de aceite, por el fenómeno de cavitación acústica generada por el ultrasonido, obteniendo glóbulos más pequeños.

Ostertag et al. [20] y Abbas et al. [21], evaluaron la influencia de diferentes tipos de aceites esenciales (sésamo, oliva, canola o naranja), sobre el tamaño de partícula, observando que con el aceite de naranja se obtienen emulsiones menores a 0.5 μm debido a que los componentes de cadena corta forman pequeñas gotas, mientras que los de cadena larga forman gotas más grandes durante la emulsificación. Zhai et al., [22] por otro lado, investigó el efecto de la incorporación de NFC bacteriana en la formación y estabilidad de emulsiones, observando que este tipo de materiales presenta gran capacidad para reducir la tensión superficial de las gotas de aceite en agua, lo que indica que los restos hidrofílicos de las nanofibras pueden unirse con el agua y los restos lipofílicos de NFC pueden absorber en las interfaces de O/W para reducir la tensión superficial de las gotas.

Comportamiento reológico de las emulsiones

En la Figura 3 se puede apreciar el comportamiento de los módulos dinámicos G' (Modulo elástico) y G'' (módulo viscoso) de las emulsiones formulada con diferentes concentraciones de CNF (0.5, 1 y 2 mg/mL), todas exhibieron un valor más alto de G' , en comparación con G'' y ambos módulos muestran independencia de la frecuencia en un intervalo del porcentaje de deformación de 10^{-1} a 100 Hz, lo que indica que en este intervalo de deformación predomina el comportamiento elástico. Un fluido elástico se caracteriza por que tiende a regresar a su forma original después de un porcentaje de deformación, característica que se puede apreciar en las emulsiones formuladas durante el proceso de prueba. En el caso del módulo G' este tiende a mantenerse constante hasta un esfuerzo de corte de 10^0 (%), pasando este valor se puede apreciar una disminución G' independientemente de la concentración de NFC utilizada, lo cual indica que el carácter elástico disminuye y su comportamiento invierte en dirección a un fluido con carácter viscoso.

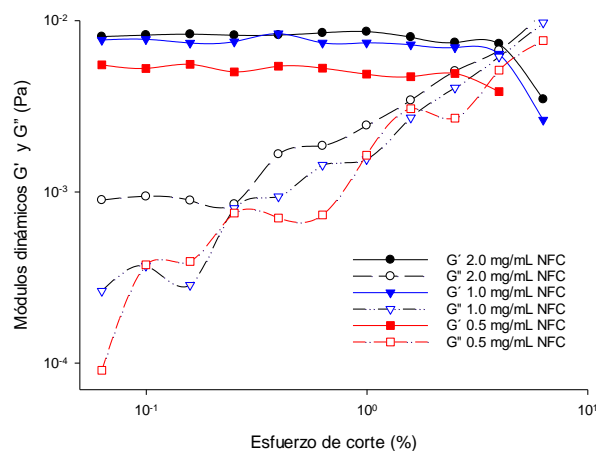


Figura 3. Módulos dinámicos (G' y G'') normalizados para las emulsiones formuladas con diferentes concentraciones (0.5, 1, 2 mg/mL) de NFC.

Por otro lado, en el módulo G'' para las emulsiones preparadas con diferente concentración de CNF (0.5, 1, 2 mg/mL) tiende a incrementar a medida que aumenta el esfuerzo de corte, hasta un punto en donde adopta un comportamiento elástico. Lu et al. [18] realizaron estudios reológicos de emulsiones de aceite de sésamo en agua estabilizadas con NFC a diferentes concentraciones en donde se observó que sistema emulsionado prevalece el comportamiento elástico sobre el viscoso independiente de la concentración de CNF utilizadas, este comportamiento puede ser debido a una sobrecarga de tensión especialmente en emulsiones con mayor concentraciones de NFC, a este fenómeno se le conoce como sobreimpulso y se originada por el aumento en la elasticidad que surge por la presión acumulada de las gotas emulsionadas en la red de NFC.

Li et al. [23] realizaron un estudio reológico a emulsiones O/W estabilizadas con CNF, obteniendo módulos con las mismas tendencias, ellos describen que las emulsiones son altamente estables cuando se implementan altas concentraciones de CNF, lo cual mejora el comportamiento de reticulación y fortalece la estructura tridimensional en forma de red en la cual se albergan las emulsiones, lo que le permite obtener un incremento en el módulo de pérdida conforme aumenta la frecuencia.

Trabajo a futuro

Evaluar el tamaño de gota y potencial z de las emulsiones formuladas.

Realizar un análisis morfológico por microcopia electrónica de barrido (MEB).

Conclusiones

El aceite de naranja cumplido con el objetivo de interaccionar con el β -caroteno y también poder ser emulsificado con la incorporación de CNF (1 mg/mL) para la formación de una emulsión O/W, formando emulsiones estables. Concentraciones mayores de NFC (2 mg/mL) ocasionan que las gotas dentro de la emulsión se aglomeren formando estructuras en forma de racimos de gotas y se vuelve más evidente a medida que se incrementa la concentración de CNF. Con la adición de etanol se obtuvieron emulsiones más homogéneas. Lo cual sugiere un alto grado de repulsión de entre las gotas formadas dentro de la emulsión. Estas morfologías afectan las respuestas reológicas finales diferentes maneras, conduciendo a un comportamiento de sobrecarga de tensión de la emulsión obteniendo comportamientos elásticos, además de obtener altos porcentajes de encapsulación del compuesto activo lo que demuestra la eficiencia del mecanismo de encapsulación, el cual puede ser aplicado a una gran variedad de compuestos activos que sean sensibles a la luz, pH, temperatura y oxígeno, pudiéndose aplicar como emulsiones de grado alimentario.

Agradecimientos

Al CONACYT por la beca otorgada en la Maestría en Biotecnología dentro la División de Estudios de Postgrado de la Universidad del Papaloapan.

Referencias

- [1] G. Maiani, M. Periago Castón, G. Catasta, E. Toti, I., Cambrodón, and A. Bysted, et al. Carotenoids: Actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53(S2), S194-S218, 2008.
- [2] T. Grune, G. Lietz, A. Palou, A. Ross, W. Stahl, and G. Tang, et al. β -Carotene Is an Important Vitamin A Source for Humans. *The Journal Of Nutrition*, 140(12), 2268S-2285S, 2010.
- [3] M. N. Hassan, N. Yusof, A. Yahaya, N. Mohd Rozali, and R. Othman. Carotenoids of Capsicum Fruits: Pigment Profile and Health-Promoting Functional Attributes. *Antioxidants*, 8(10), 469, 2019.

- [4] A. Roohbakhsh, G. Karimi, and M. Iranshahi, Carotenoids in the treatment of diabetes mellitus and its complications: A mechanistic review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 91, 31-42, 2017.
- [5] F. Chen, J. Hu, P. Liu, J. Li, Z. Wei, and P. Liu, Carotenoid intake and risk of non-Hodgkin lymphoma: a systematic review and dose-response meta-analysis of observational studies. *Annals Of Hematology*, 96(6), 957-965, 2016.
- [6] H. Xu, H. Jiang, W. Yang, F. Song, S. Yan, and C. Wang, et al. Is carrot consumption associated with a decreased risk of lung cancer? A meta-analysis of observational studies. *British Journal Of Nutrition*, 122(5), 488-498, 2019.
- [7] A. Kaulmann, and T. Bohn, Carotenoids, inflammation, and oxidative stress implications of cellular signaling pathways and relation to chronic disease prevention. *Nutrition Research*, 34(11), 907-929, 2014.
- [8] T. Bohn. Carotenoids and Markers of Oxidative Stress in Human Observational Studies and Intervention Trials: Implications for Chronic Diseases. *Antioxidants*, 8(6), 179, 2019.
- [9] C. Boon, D. McClements, J. Weiss, and E. Decker, Factors Influencing the Chemical Stability of Carotenoids in Foods. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, 50(6), 515-532, 2010.
- [10] L. Gu, Y. Su, M. Zhang, C. Chang, J. Li, D. McClements, and Y. Yang, Protection of β -carotene from chemical degradation in emulsion-based delivery systems using antioxidant interfacial complexes: Catechin-egg white protein conjugates. *Food Research International*, 96, 84-93, 2017.
- [11] D. Thakur, A. Jain, G. Ghoshal, U. Shivhare, and O. Katare. Microencapsulation of β -Carotene Based on Casein/Guar Gum Blend Using Zeta Potential-Yield Stress Phenomenon: an Approach to Enhance Photo-stability and Retention of Functionality. *AAPS Pharmscitech*, 18(5), 1447-1459, 2017.
- [12] W. Liu, J. Wang, D. McClements, and L. Zou. Encapsulation of β -carotene-loaded oil droplets in caseinate/alginate microparticles: Enhancement of carotenoid stability and bioaccessibility. *Journal Of Functional Foods*, 40, 527-535, 2018.
- [13] S. Park, S. Mun, and Y. Kim. Effect of xanthan gum on lipid digestion and bioaccessibility of β -carotene-loaded rice starch-based filled hydrogels. *Food Research International*, 105, 440-445, 2018.
- [14] R. Reksamunandar, D. Edikresnha, M. Munir, S. Damayanti, and Khairurrijal. Encapsulation of β -carotene in poly(vinylpyrrolidone) (PVP) by Electrospinning Technique. *Procedia Engineering*, 170, 19-23, 2017.
- [15] J. Chen, F. Li, Z. Li, D. McClements, and H. Xiao. Encapsulation of carotenoids in emulsion-based delivery systems: Enhancement of β -carotene water-dispersibility and chemical stability. *Food Hydrocolloids*, 69, 49-55, 2017.
- [16] A. H. Khalil, A., Bhat, and A. Ireana Yusra, Green composites from sustainable cellulose nanofibrils: A review. *Carbohydrate Polymers*, 87(2), 963-979, 2012.
- [17] L. Bai, L. Greca, W. Xiang, J. Lehtonen, S. Huan, and R. Nugroho, et al. Adsorption and Assembly of Cellulosic and Lignin Colloids at Oil/Water Interfaces. *Langmuir*, 35(3), 571-588, 2018.
- [18] Y. Lu, X. Qian, W. Xie, W. Zhang, J. Huang, and D. Wu, Rheology of the sesame oil-in-water emulsions stabilized by cellulose nanofibers. *Food Hydrocolloids*, 94, 114-127, 2019.
- [19] S. Fujisawa, E. Togawa, and K. Kuroda, Nanocellulose-stabilized Pickering emulsions and their applications. *Science And Technology Of Advanced Materials*, 18(1), 959-971, 2017.
- [20] F. Ostertag, J. Weiss, and D. McClements. Low-energy formation of edible nanoemulsions: Factors influencing droplet size produced by emulsion phase inversion. *Journal Of Colloid And Interface Science*, 388(1), 95-102, 2012.
- [21] S. Abbas, K. Hayat, E. Karangwa, M. Bashari, and X. Zhang. An Overview of Ultrasound-Assisted Food-Grade Nanoemulsions. *Food Engineering Reviews*, 5(3), 139-157, 2013.
- [22] X. Zhai, D. Lin, D. Liu, and X. Yang. Emulsions stabilized by nanofibers from bacterial cellulose: New potential food-grade Pickering emulsions. *Food Research International*, 103, 12-20, 2018.
- [23] Q. Li, Y. Wang, Y. Wu, K. He, Y. Li, and X. Luo, et al. Flexible cellulose nanofibrils as novel pickering stabilizers: The emulsifying property and packing behavior. *Food Hydrocolloids*, 88, 180-189, 2019.

Efecto del secado convectivo sobre el contenido de compuestos bioactivos de chile jalapeño.

Luis Andrés Van Vollenhoven Hernández¹, Jesús Rodríguez Miranda¹, Roselis Carmona García¹, Cecilia Eugenia Martínez Sánchez¹, Erasmo Herman y Lara^{1*}.

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Calzada Dr. Víctor Bravo Ahuja No. 561, Col. Predio el Paraíso, San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, C.P 68350, México.

[*erasmo.hy@tuxtepec.tecnm.mx](mailto:erasmo.hy@tuxtepec.tecnm.mx)

Resumen

El secado es una operación muy utilizada en la elaboración de alimentos, presenta ventajas como la disminución de volumen, facilidad de transporte y aumento de vida útil, sin embargo, el uso de temperaturas elevadas y la exposición por tiempos prolongados presenta deterioro sobre algunas propiedades de los alimentos como lo son los compuestos bioactivos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el contenido de polifenoles y la actividad antioxidante de chile jalapeño (*Capsicum annuum*), fresco y secado a 70 °C en extractos obtenidos mediante maceración asistida por ultrasonido, así como cambios físicos y químicos generados por el secado. El contenido de polifenoles para seco y fresco fue de 558.07 y 786.64 mg EAG respectivamente por otro lado el % de inhibición del radical DPPH* fue de 51.47 y 56.13 mientras que para ABTS* fue de 59.26 y 69.28, se observaron cambios en color, acidez y sólidos totales.

Palabras clave: *Compuestos bioactivos, polifenoles, maceración, DPPH*.*

Abstract

Drying is an operation widely used in food processing, with advantages such as volume reduction, ease of transport, and increased shelf life; however, the use of high temperatures and exposure for prolonged periods of time has a negative effect on some food properties such as bioactive compounds. The objective of this work was to evaluate the polyphenol content and antioxidant activity of jalapeño bell pepper (*Capsicum annuum*), fresh and dried at 70 °C in extracts obtained by ultrasound-assisted maceration, as well as physical and chemical changes generated by drying. The polyphenol content for dried and fresh was 558.07 and 786.64 mg GAE, respectively. On the other hand, the % inhibition of the DPPH* radical was 51.47 and 56.13 while for ABTS* it was of 59.26 and 69.28, changes were observed in the color, acidity and total solids.

Key words: *bioactive compounds, polyphenols, maceration, DPPH*.*

Introducción

A pesar de que numerosos productos alimenticios se secan en el momento de su transformación o conservación, existe el riesgo de alteración de ciertos componentes de interés biológico como los compuestos bioactivos, fenoles, flavonoides y compuestos que confieren valor al alimento en cuestión. El secado, es uno de los procesos tradicionales de conservación de alimentos de mayor interés en la actualidad; consiste en la remoción del agua libre, para lo cual se utiliza aire caliente u otro mecanismo como medio desecador. El secado, implica mecanismos complejos y simultáneos de transferencia de calor, masa y momento, siendo la temperatura, una de las principales variables del proceso, debido a que si no es la adecuada influye en la calidad del producto alterando el sabor, el color, olor, así como otras propiedades nutricionales o de interés además de disminuir el contenido nutricional [1]. El chile jalapeño es un fruto endémico de México de la zona de Xalapa, Veracruz de ahí su nombre, es ampliamente consumido a nivel mundial debido a sus propiedades nutricionales y sensoriales como el sabor y olor entre otros factores, es un alimento con un bajo contenido de carbohidratos, grasas y con un alto contenido de vitaminas [2]. Es importante evaluar la calidad del secado sobre parámetros de interés biológico, esto gracias a que las nuevas tendencias sugieren el uso de alimentos de origen natural que ofrezcan al consumidor un beneficio extra, sin embargo el consumo de alimentos naturales se ve afectado por el contenido de humedad, mismo que vuelve percederos a un gran número de alimentos perdiendo así muchas de sus propiedades nutricionales, sensoriales, químicas y físicas, por lo cual se evaluó la calidad del secado de bandejas como secado convectivo a una temperatura de 70 °C con la finalidad de observar el comportamiento de los compuestos de

interés biológico como los polifenoles, flavonoides, la capacidad antioxidante así como también observar los cambios fisicoquímicos como el %Humedad, pH, color, acidez y sólidos solubles (°Brix).

Metodología

Materiales

Los chiles jalapeños (verdes) fueron adquiridos en el mercado local Flores Magón de la ciudad de Tuxtepec, Oaxaca. Las sustancias químicas de Folin Ciocalteu, hidróxido de potasio 0.1 M, reactivo DPPH*, reactivo ABTS*, cloruro de aluminio, carbonato de sodio, reactivos Fehling, ácido gálico fueron de grado analítico de la marca Sigma Aldrich® con la finalidad de reducir errores en las determinaciones.

Preparación y secado de la muestra

El chile jalapeño se cortó en rodajas de 1 mm de espesor y 3.5±0.1 cm de diámetro tomando muestras solo del centro del fruto, desechando pedúnculo y punta del pericarpio sin semillas. Se determinó el tiempo de secado utilizando un secador convectivo de bandejas empleando una temperatura de 70 °C hasta obtener un peso constante.

Análisis fisicoquímico del chile jalapeño

Se determinaron las siguientes propiedades fisicoquímicas del fruto antes y después del proceso de secado con la finalidad de estandarizar la muestra y observar el efecto del secado sobre el fruto. Las propiedades evaluadas fueron: color empleando un colorímetro (UltraScan Vis, Hunterlab, USA) empleando el software EasyMatchQC, análisis de humedad AOAC (2005) [3], acidez titulable (947.05) [4], pH, sólidos solubles totales (932.14). El pH se determinó utilizando un potenciómetro (Ultra-Basic) estandarizado con buffer 4, 7 y 10. Los sólidos se midieron con un refractómetro digital (Generic modelo K13979), la acidez titulable se expresó como % de ácido cítrico y fue determinada mediante titulación empleando NaOH (0.1 N) utilizando fenolftaleína como indicador.

Preparación de extractos hidroalcohólicos

Los extractos se prepararon pesando 3.75 g de muestra que se colocan en maceración con 25 mL de una mezcla de EtOH/Agua en un baño ultrasónico (Elmasonic, PD-78224/Htw, Germany) (30 min/80 kHz/35 °C) a una potencia de 100%, posteriormente se filtró y se rotaevaporó para su posterior almacenamiento a 4 °C en viales de cristal.

Cuantificación de polifenoles totales

El análisis del contenido total de polifenoles fue determinado empleando el método de Folin-Ciocalteu empleando la metodología de Heimler modificada [5], empleando una curva de ácido gálico como estándar. Las muestras fueron leídas a 760 nm empleando un espectrofotómetro (Agilent Technologies, Cary 60 UV-Vis, USA).

Cuantificación total de flavonoides

El contenido de flavonoides totales se llevó a cabo siguiendo la metodología de Zhishen [6], empleando una curva de catequina como estándar, las muestras fueron leídas a 510 nm empleando un espectrofotómetro (Agilent Technologies, Cary 60 UV-Vis, USA). Los resultados se expresan como mg equivalentes de catequina (EC)/g de extracto.

Determinación de capacidad antioxidante

A) Método 2,2-difenil-1-picrilhidracilo: DPPH*.

La capacidad antioxidante se determinó empleando la metodología de Braca [7], empleando una curva de Trolox como estándar, las lecturas se llevaron a cabo a 515 nm empleando un espectrofotómetro (Agilent Technologies, Cary 60 UV-Vis, USA). La capacidad antiradicalaria se calculó utilizando la ecuación 1.

$$\%DPPH^+ = \frac{Ac-Am}{AC} \times 100 \quad 1)$$

B) Método 2,2 Azino-bis-(3-etilbenzo-tiazolina-6-sulfónico): ABTS*

Para la cuantificación de la actividad antioxidante se empleó el método descrito por Re [8], en el cual se activó el reactivo incubado durante 12-16 h, (el reactivo permanece estable durante 2 días), las lecturas se llevaron a cabo

a 732 nm empleando un espectrofotómetro (Agilent Technologies, Cary 60 UV-Vis, USA). La capacidad antiradicalaria fue calculada empleando la ecuación 2.

$$\%ABTS^+ = \frac{Ac-Am}{AC} \times 100 \quad 2)$$

Resultados y discusión

Secado de bandejas

Se empleó un secador de bandejas a una temperatura de 70 °C, la cual se considera una temperatura intermedia que evita el deterioro de los componentes de interés. Se determinó el tiempo de secado hasta obtener un peso constante durante 3 repeticiones, tomando el primer valor constante como el tiempo de secado. En la figura 1 se muestra la cinética de secado.

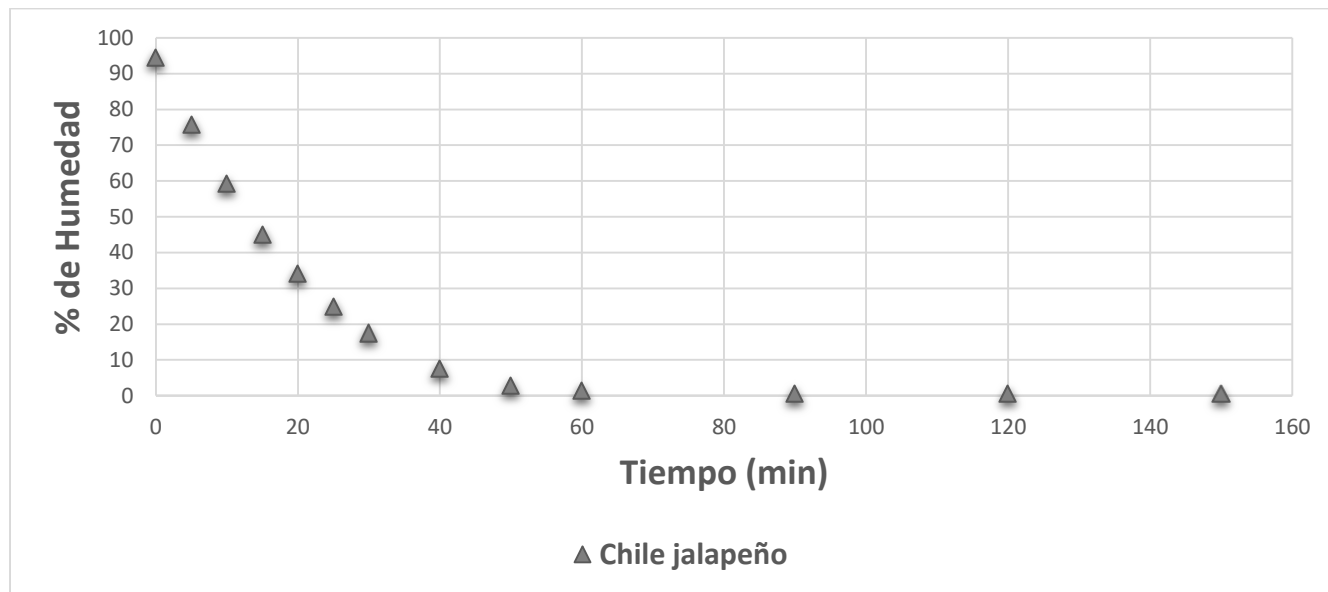


Figura 1. Cinética de secado a 70 °C en secador de bandejas

Análisis fisicoquímico del chile jalapeño

Se emplearon tres lotes de chile jalapeño los cuales fueron estandarizados realizando pruebas fisicoquímicas, además se evaluaron los cambios antes y después del proceso de secado con la finalidad de evaluar el efecto sobre las propiedades fisicoquímicas del alimento, estas propiedades se muestran en la tabla 1 y 2. En la tabla 1 se muestra el control de madurez del chile jalapeño de los 3 lotes, pH, sólidos solubles, acidez titulable, humedad y color (ángulo Hue como h°).

Tabla 1. Propiedades del chile jalapeño análisis de 3 lotes diferentes

Lote	pH	SS (°Brix)	Acidez Titulable (%)	% Humedad	Color (h°)
1	5.36±0.14 ^a	2.1±0.49 ^a	0.032±0.01 ^a	94.47±0.05 ^a	1.29±0.00 ^a
2	5.57±0.18 ^a	3.0±0.62 ^a	0.064±0.01 ^b	94.31±0.26 ^a	1.29±0.00 ^a
3	5.30±0.14 ^a	2.9±0.55 ^a	0.032±0.01 ^a	94.44±0.26 ^a	1.29±0.00 ^a

Todos los valores se expresan como la media ± la desviación estándar de tres repeticiones. Medias con letras distintas en la misma columna expresan diferencia estadística significativa mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$). SS: sólidos solubles.

En la tabla 1 se observó que los lotes fueron similares, lo que permitió reducir la variación entre los ensayos. Se apreció que el chile jalapeño tuvo un porcentaje elevado de humedad por encima del 90%, el color y la acidez entre los lotes de las muestras fueron similares. Es decir, entre los lotes se consideraron como de la misma

madurez fisiológica. En la tabla 2 se muestra el efecto del secado sobre las propiedades del chile jalapeño de los 3 lotes analizados, se muestran resultados de pH, S.S. (°Brix), Acidez titulable, %Humedad y color (L^* , C^* , h° y ΔE).

Tabla 2. Efecto del secado sobre propiedades fisicoquímicas del chile jalapeño

Parámetro	Fresco	Seco (70 °C/90 min)
pH	5.41±0.14 ^a	5.03±0.05 ^a
SS (°Brix)	2.66±0.49 ^a	7.61±1.60 ^b
Acidez titulable (%)	0.042±0.01 ^a	0.12±0.13 ^b
%Humedad	94.40±0.08 ^a	0.48±0.00 ^b
L^*	40.94±1.39 ^a	56.85±0.85 ^b
C^*	22.02±1.01 ^a	23.13±0.02 ^a
h°	66.61±0.88 ^a	74.54±0.10 ^b
ΔE	23.63±0.68 ^a	15.45±0.10 ^b

Todos los valores se expresan como la media \pm desviación estándar. Medias con letras distintas en la misma fila significan diferencia estadística significativa mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$). L^* : luminosidad, C^* : Chroma, h° : ángulo Hue.

En la tabla 2 se observaron diferencias en el % de humedad, en el color y la luminosidad. El comportamiento del pH se encuentra relacionado con el % de acidez, a mayor acidez el pH disminuye, esto puede ser resultado de los minerales libres por la ausencia de la humedad. El contenido de sólidos solubles aumentó de igual forma por la disminución del contenido de humedad.

Quantificación de polifenoles totales (CPT)

En la tabla 3 se presentan los resultados de la prueba de polifenoles de la muestra fresca y secada a 70 °C, en la cual se empleó el uso de extractos hidroalcohólicos (MetOH/Agua).

Tabla 3. Efecto del secado sobre el contenido de polifenoles totales de chile jalapeño

Muestra	mg EAG/ g Extracto
Chile fresco	786.64±25.43 ^a
Chile seco	558.94±16.87 ^b

Todos los valores se expresan como la media \pm desviación estándar. Medias con letras distintas en la misma columna significan diferencia estadística significativa mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$). mg EAG: miligramos equivalentes de ácido gálico.

En la tabla 3 se observó que el contenido total de polifenoles en chile jalapeño fue elevado. Esto puede ser resultado del tipo de extracción, permitiendo el ultrasonido obtener el mayor contenido de compuestos durante el proceso de maceración, sin embargo, el proceso de secado presentó una degradación paulatina del 29% de dichos componentes. El análisis estadístico estableció que la degradación fue significativa en comparación con el contenido total, los resultados representan el valor medio de los lotes analizados. La pérdida de estos compuestos fenólicos fue consecuencia de las reacciones de oxidación, tanto enzimáticas como no enzimáticas que se generaron durante el intervalo de tiempo en el que la fruta fue sometida durante el proceso de secado. Algunas de estas reacciones se encuentran catalizadas por la polifenol oxidasa, que en presencia de oxígeno realiza dos reacciones como la hidroxilación de monofenoles a o-difenoles y la posterior oxidación de o-difenoles a o-quinonas [9].

Quantificación total de flavonoides (CFT)

Los flavonoides forman parte del total de los polifenoles. En la tabla 4 se muestra el contenido de flavonoides, en donde se evaluó el efecto del secado sobre el contenido. Los flavonoides al igual que los polifenoles sufren cambios durante el proceso de secado como la oxidación de manera enzimática.

Tabla 4. Efecto del secado sobre el contenido de flavonoides totales

Muestra	mg Quercetina/g extracto
Chile fresco	375.97±6.66 ^a
Chile seco	176.11±0.40 ^b

Todos los valores se expresan como la media ± desviación estándar. Medias con letras distintas en la misma columna significan diferencia estadística significativa mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

El contenido total de flavonoides muestra diferencia significativa entre el tratamiento en fresco y el secado. Alrededor del 47% del contenido total sufrió un deterioro total o paulatino durante el proceso de secado, el cambio en el contenido puede deberse también a factores como reacciones químicas de oxidación por la polifenol oxidasa.

Actividad antioxidante (DPPH*)

El porcentaje de inhibición del radical DPPH* fue determinado utilizando extractos acuosos de muestra fresca y seca, la inhibición del radical en el chile jalapeño está relacionada con el estado de madurez, alcanzando el máximo valor a los 30 días de cosecha, esto gracias a la oxidación de la clorofila y el incremento en el contenido de β -carotenos [2]. En la tabla 5 se muestra el efecto del secado sobre la inhibición del radical DPPH*.

Tabla 5. Porcentaje de inhibición del radical DPPH* de muestras frescas y secadas a 70 °C

ppm	% Inhibición fresco	% Inhibición Seco
10000	56.13±0.08 ^a	51.47±0.08 ^b
5000	36.85±0.36 ^a	32.58±0.77 ^b
2500	30.86±0.18 ^a	19.20±0.18 ^b
1000	21.43±0.87 ^a	15.21±0.25 ^b
500	15.53±0.46 ^a	9.47±0.05 ^b

Todos los valores se expresan como la media ± desviación estándar. Medias con letras distintas en la misma fila expresan diferencia estadística significativa mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$). ppm: partes por millón.

El secado afectó de manera notable la capacidad antiradicalaria de los extractos, factores como la luz y la acción de la polifenol oxidasa pueden ser factores que disminuyan la efectividad de la actividad antioxidante durante el ensayo. A continuación, se muestra en la figura 2 a) el % de inhibición y b) la gráfica IC₅₀ del ensayo de DPPH*.

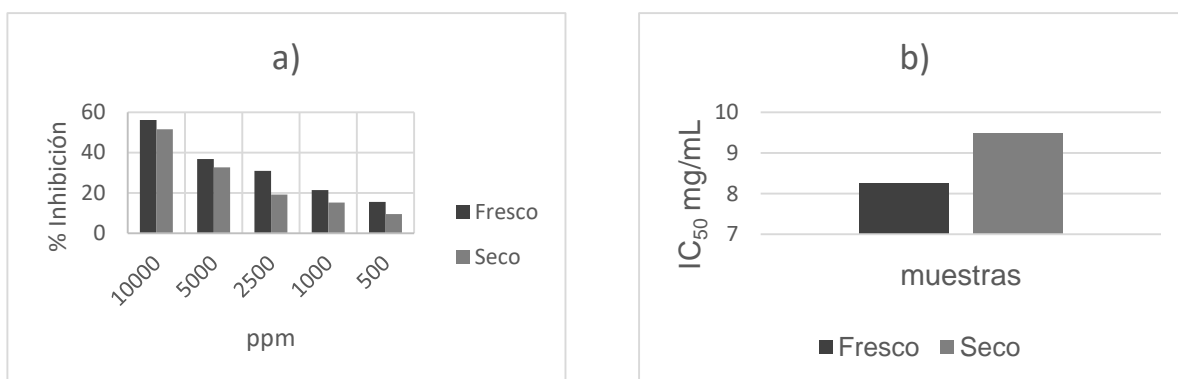


Figura 2. a) % de inhibición del radical DPPH* b) IC₅₀ DPPH* (cantidad necesaria de extracto para inhibir el 50% del radical)

Se observó que la cantidad de extracto necesaria para neutralizar el 50% del radical fue mayor en la muestra seca, lo que permite entender la influencia negativa que existe del secado sobre los componentes que confieren estas propiedades.

Actividad antioxidante método ABTS*

El ensayo ABTS* cuantifica compuestos hidrofílicos y lipofílicos, se observó diferencia con el ensayo DPPH* que solo cuantifica compuestos lipofílicos. En la siguiente tabla se muestra el % de inhibición del radical ABTS* para muestras frescas y secas.

Tabla 6. % de inhibición del radical ABTS* de muestras frescas y secas

ppm	% Inhibición fresco	% Inhibición Seco
10000	69.28±0.42 ^a	59.26±0.78 ^b
5000	55.33±0.80 ^a	47.71±0.23 ^b
2500	41.88±0.94 ^a	38.07±0.70 ^b
1000	33.94±0.34 ^a	19.65±0.34 ^b
500	21.61±0.40 ^a	10.65±0.50 ^b
250	10.68±0.42 ^a	7.82±0.42 ^b
50	5.36±0.08 ^a	2.44±0.18 ^a

Todos los valores se expresan como la media ± desviación. Medias con letras diferentes en la misma fila expresan diferencia estadística significativa mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

El análisis estadístico establece que el secado disminuyó la actividad antiradicalaria de manera significativa sobre el % de inhibición del radical ABTS*. Se observó que la calidad de la actividad antiradicalaria que ofrece el chile jalapeño supera el 50% del radical, lo que podría ser factible para la extracción de compuestos de interés. A bajas concentraciones del radical ABTS* alrededor de 50 ppm no se observaron diferencias significativas entre la muestra de chile fresco y seco.

En la figura 3 se observa el IC₅₀ de los extractos de chile frente al radical ABTS* (cantidad necesaria de extracto para inhibir el 50% del radical).

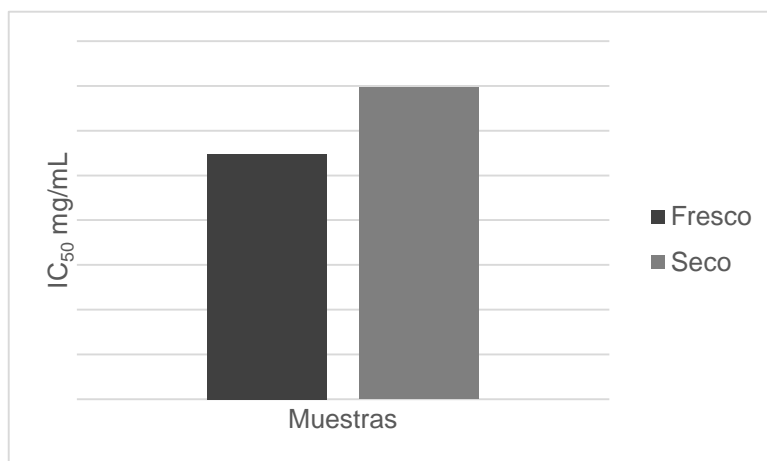


Figura 3. IC₅₀ de extractos de chile jalapeño fresco y seco.

Trabajo futuro

Se evaluará la calidad de secadores híbridos comparándolos con los convencionales, también se llevará a cabo el análisis de textura de las rodajas secadas de chile jalapeño y el estudio del contenido de capsinoides, betacarotenos, ácido ascórbico evaluando la influencia de los procesos de secado sobre dichas propiedades.

Conclusiones

Se observó que algunas propiedades se vieron favorecidas por el secado, tal es el caso del contenido de sólidos solubles, acidez titulable, así como el color. Sin embargo, el secado afectó el contenido de polifenoles totales, flavonoides y la actividad antioxidante (DPPH y ABTS*) considerablemente, con un 47% para DPPH⁺ y 14.46% para ABTS⁺. Estos cambios podrían ser resultado de la exposición prolongada a altas temperaturas y de la oxidación química que se desarrolló durante el proceso de secado y la actividad enzimática desarrollada por la polifenol oxidasa. Los resultados expresaron que el chile jalapeño es un alimento que puede ser utilizado para el desarrollo de nuevos productos funcionales o para la obtención de compuestos de interés biológico.

Referencias

- [1] J. C. De la vega, M. A. Cañarejo, O. N. Cabascano y M. V. Lara, "Deshidratado de *Physalis peruviana* L. en dos Estados de Madurez y su Efecto sobre el Contenido de Polifenoles Totales, Capacidad Antioxidante, Carotenos, Color y Ácido Ascórbico," Centro de información tecnológica, vol. 30, nº 05, 2019.
- [2] L. M. Sanchez, "Propiedades fisicoquímicas y antioxidantes del chile jalapeño (*Capsicum annum* var. *annuum*) durante almacenamiento," Revista Chapingo. Serie horticultura, vol. 21, nº 3, pp. 229-241, 2015.
- [3] Association of Official Analytical Chemists (AOAC), «Official methods of analysis of AOAC international, Fruits and fruits products.,» Arlington, VA USA, 2005.
- [4] Association of Official Analytical Chemists (AOAC), "Oficial Methods of Analysis, 18th (edited by W. Horwitz & G.W Latimer) Gathesburg, MD, USA," AOAC Internacional, 2005.
- [5] V. L. Singleton y R. J.A, "Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents," American Journal of Enology and Viticulture, vol. 16, pp. 144-158, 1965.
- [6] B. Liu y Y. Zhu, "Extraction of flavonoids-rich parts in tartary buckwheat and identification of the main flavonoids," Journal of food engineering, vol. 78, nº 2, pp. 584-587, 2007.
- [7] A. Braca, C. Sortino, M. Potili, I. Morelli y J. Mendez, "Antioxidant activity of flavonoids from *Licania licaniae* flora," Journal of ethnopharmacology, vol. 79, pp. 379-381, 2002.
- [8] R. Re, N. Pelegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang y C. Rice-Evans, "Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization," Free radical biology and medicine, vol. 26, pp. 1231-1237, 1999.
- [9] K. A. Padilla-Frias, C. Granados-Conde, G. Leon-Mendez, Y. Arrieta-Pineda y M. Torre-Negra, "Evaluación de la influencia de la temperatura en procesos de secado," Ciencia y tecnología alimentaria, vol. 18, 2018.

Análisis fitoquímico de *Justicia spicigera* (Schltdl.) en comunidades totonacas

Pavón Acosta Denisse^{1*}, Lozada García José Armando², Pacheco Cobos Luis³, Vázquez Martínez Juan⁴, Carmona Hernández Oscar⁵

¹Facultad de Biología Xalapa, Universidad Veracruzana, denisse_z15@hotmail.com, ²Facultad de Biología Xalapa, Universidad Veracruzana, alozada@uv.mx, ³Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, luipacheco@uv.mx, ⁴Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, juan.vm@irapuato.tecnm.mx, ⁵Facultad de Ciencias Agrícolas Xalapa, Universidad Veracruzana, carhdz03@gmail.com
*alozada@uv.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Justicia spicigera es una planta originaria de México y de uso tradicional en ceremonias y para el tratamiento de síndromes de filiación cultural en diversas comunidades totonacas, es conocida comúnmente como muicle o tsi'is, muwij y limanin en totonaco. Con el objetivo de analizar fitoquímicamente su comportamiento, se realizaron colectas botánicas en las comunidades totonacas de Filomeno Mata, Talpila, El Chote, Buena Vista y Reforma Escolín. Mediante extractos metanólicos de *J. spicigera* se cuantificó el contenido de metabolitos secundarios totales por espectrofotometría colorimétrica UV/VIS. En función de los resultados, la población de *J. spicigera* de la comunidad de Talpila muestra mayor cantidad de alcaloides, flavonoides y fenoles con 12.70, 92.29 y 85.25 µg/mg respectivamente, el extracto con mayor concentración de terpenos totales fue el de la comunidad de Filomeno Mata con 0.1081 µg/mg. Las poblaciones de *J. spicigera* contienen compuestos bioactivos a diferentes concentraciones dado su lugar de procedencia.

Palabras clave: Compuestos Bioactivos, Metabolitos Secundarios, Espectrofotometría, Síndromes de filiación cultural

Abstract

Justicia spicigera is a plant native to Mexico and traditionally used in ceremonies and for the treatment of syndromes of cultural affiliation in several Totonac communities, it is commonly known as muicle or tsi'is, muwij and limanin in Totonac. In order to phytochemically analyze its behavior, botanical collections were made in the Totonac communities of Filomeno Mata, Talpila, El Chote, Buena Vista and Reforma Escolín. Using methanolic extracts of *J. spicigera*, the content of total secondary metabolites was quantified by UV/VIS colorimetric spectrophotometry. According to the results, the population of *J. spicigera* from the community of Talpila showed the highest amount of alkaloids, flavonoids and phenols with 12.70, 92.29 and 85.25 µg/mg respectively, the extract with the highest concentration of total terpenes was the one from the community of Filomeno Mata with 0.1081 µg/mg. The populations of *J. spicigera* contain bioactive compounds at different concentrations given their place of origin.

Key words: Bioactive Compounds, Secondary Metabolites, Spectrophotometry, Syndromes of Cultural Affiliation

Introducción

Justicia spicigera es una hierba perenne arbustiva que alcanza hasta los cinco metros de altura, su distribución es pantropical y es nativa de Costa Rica, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Guatemala, Belice y México. En este último se distribuye principalmente en los estados de Chiapas, Nayarit, Puebla, Guerrero, Yucatán y Veracruz [1]. Su uso tradicional en comunidades originarias se registra desde 1580 con la cultura totonaca, utilizada a partir del conocimiento tradicional y nombrada coloquialmente como muicle, muwij, limanin y con más frecuencia tsi'is

en totonaco. En la actualidad, las hojas, flores y tallos de *J. spicigera* se utilizan por los totonacas con fines terapéuticos, ceremoniales y tradicionales como tintura natural. Así mismo, es ampliamente utilizada como emenagogo y contra espasmos, auxiliar en padecimientos femeninos como cólicos o dolores menstruales, mediante la preparación de bebidas por infusión de sus hojas y flores [2]. Así como también en “limpias” o para ahuyentar la “tristeza” [3]. Antiguamente, sus hojas eran utilizadas para tratar disentería mediante infusiones de hojas preparados por los curanderos, así como en el tratamiento para el dengue e hipertensión o problemas de la sangre en general [2].

Estos usos están asociados a los compuestos bioactivos que alberga en su estructura, a su vez, modulados por el metabolismo secundario. Estos grupos metabólicos no tienen una función esencial en las plantas [4, 5] y tampoco una distribución generalizada, sin embargo, influyen en su ecología, en procesos de adaptación, atrayentes o repelentes de animales, pigmentos de coloración, atracción de dispersores de semillas y frutos, estrés abiótico, entre otros, además, actúan como protectores incrementando su síntesis ante depredadores [6]. La acumulación de los metabolitos secundarios se refleja en diferentes etapas fenológicas como consecuencia de las variaciones en las condiciones ambientales e interacciones ecológicas. Lo anterior modula la expresión de metabolitos secundarios y provoca una posible producción esporádica de los mismos.

Por lo tanto, *J. spicigera* al ser considerada una planta medicinal, alberga en sus estructuras biológicas compuestos como carbohidratos simples, mucílagos, pectinas, glucósidos, pigmentos, resinas, aceites esenciales y minerales; se han aislado de las hojas de esta especie compuestos fenólicos como el ácido behénico, ácido salicílico, campesterol, estigmasterol y sitosterol, flavonoides como kaempferitrina, kaemferol-3-7-bisrhamnosido y kaemferol tri rhamnosido [7, 8], alcaloides como la vasicina [9] y el justicínol, taninos en sus flores [10], flavonoides, antocianinas y antraquinonas en sus hojas, estos últimos son los responsables de propiedades tintóreas y antioxidantes [11]. Así mismo, conserva metabolitos como antocianinas, fitoesteroles y flavonoides en sus hojas secas [12], además de diversos triterpenos con efectos sobre la disminución de la fertilidad; y finalmente, justicínol con efectos sobre el Sistema Nervioso Central [13-15].

Por otra parte, *J. spicigera* mediante extracciones clorofórmicas tiene actividad biológica antidiabética atribuida al compuesto Kaempferitrina y antiinflamatoria atribuida al compuesto alantoína [16]. En este sentido, en un estudio realizando extracciones etanólicas de *J. spicigera* y posterior en fracciones hexánicas, se pudieron identificar compuestos como: 4-metil-3-pentanal, 2-hidroxi-2-metil-butanoato de metilo, 3,4-epoxi-2-hexanona, 4-(1-metiletoxi)-1-butanol, ácido 2-hidroxi-2-metil-butanoico, 1,2-diol-(2-furanil)-3-buteno, 2-hexenoato de etilo, ácido 3-tiofen-acético, ácido ftálico-2-etil-butil éster y 4-fenil-1,2-di-(4-metoxifenil)-eteno [17]. También se han aislado y confirmado la presencia de β -sitosterol, 3 β -glucosil-O-sitosterol, criptoxantina, alantoína y otros flavonoides como narigenina y hesperidin, además de elenosidos y ácido treoy-hidroxi-glutámico, sin embargo, son pocos los estudios que se conocen acerca del contenido químico de *J. spicigera* [18].

Se infiere que poblaciones de una misma especie pueden tener variaciones en las concentraciones totales de metabolitos secundarios, en función a su ubicación geográfica [19]. Las comunidades totonacas de estudio se ubican en la parte centro-oriental de México, región conocida como Totonacapan, que además de Veracruz, incluye territorio de Hidalgo y Puebla [20], conservando la sabiduría ancestral en torno al uso de plantas de uso tradicional [21]. Por lo tanto, el presente trabajo tiene la finalidad de analizar los principales grupos de metabolitos secundarios presentes en diferentes poblaciones de *J. spicigera* con el objetivo de contribuir al estudio de la flora medicinal mexicana tomando en cuenta su valor medicinal y composición química, así como contribuir a la conservación de la sabiduría tradicional totonaca, considerada patrimonio cultural.

Metodología

Selección de las comunidades de estudio

Para la selección de las comunidades de estudio se consultaron los registros de especímenes de *J. spicigera* de los herbarios: Herbario del Instituto de Ecología, A. C. (XAL), el Herbario Nacional de México (MEXU) y el Herbario del Jardín Botánico de Missouri (Trópicos). Así mismo, apoyándose en el Atlas de los Pueblos Indígenas de México del Instituto Nacional de Pueblos Indígenas (INPI) [22] se consultó la distribución y ubicación geográfica de poblaciones totonacas en el estado de Veracruz. Las comunidades se seleccionaron considerando los siguientes criterios: 1) ubicadas geográficamente en el estado de Veracruz; 2) contar con población hablante de la lengua; 3) ubicadas en la región comprendida como el Totonacapan; 4) comunidades indígenas portadoras del conocimiento sobre el uso de plantas tradicionales medicinales. Una vez realizado lo anterior se incorporó

información abiótica de las comunidades seleccionadas (altitud, tipo de suelo, tipo de vegetación, precipitación y temperatura media anual) [23].

Georreferenciación de las comunidades de estudio

Se utilizaron smartphones de precisión métrica mediante la aplicación de GPS para Android GPX Viewer versión 1.38.3, Google Earth Pro versión 7.3.3.7786, señalando *waypoints* de cada población de *J. spicigera* dentro de cada comunidad de estudio [24, 25]. Adicionalmente, utilizando los *waypoints*, se mapeo la ubicación de las comunidades de estudio utilizando los programas IDRISI:The Selva Editation versión 17.00 y QGIS versión 3.16.16 Hannover.

Colecta botánica

Se realizaron recorridos en campo en compañía de sabios locales reconocidos por las comunidades para la ubicación de las poblaciones de *J. spicigera* de la cual ellos se proveen. El material vegetal se colectó durante los meses de junio-julio del 2021, la colecta se nombró como “colecta de primavera-verano”. Según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 [26], para la especie su estado de protección es nulo, no se encuentra en peligro de extinción o bajo alguna categoría de riesgo. Se colectó vástago de *J. spicigera* en cada comunidad de estudio, dichas colectas se secaron y trituraron en un molino hasta obtener polvo fino [27].

Preparación de extractos metanólicos de poblaciones de *Justicia spicigera*

Los extractos se realizaron siguiendo la técnica descrita por Rojas y col., (2015) [28]. Se utilizaron 20 g de material vegetal y 300 mL de MetOH para ser extraídos en un equipo soxhlet a flujo constante hasta agotamiento de la muestra. Los extractos obtenidos se concentraron a presión reducida y temperatura no mayor a 60 °C utilizando un rotavapor de la marca Vante modelo RE100-Pro. A partir del peso seco se estimó el rendimiento bruto [29].

Cuantificación de metabolitos secundarios totales

Se determinaron alcaloides totales por el método de Shamsa y col., (2008) [30], preparando una curva de calibración de cafeína anhidra [31]. Las absorbancias del complejo formado y disuelto en cloroformo fueron leídas a 470 nm [28]. Los resultados se expresaron en unidades de μg equivalentes de cafeína/mg extracto ($\mu\text{g EC/mgE}$). Los flavonoides totales se determinaron por el método de Kumazawa y col., (2004) [32] a 420 nm. Se utilizaron soluciones de quercetina para la curva de calibración y el contenido de flavonoides totales se expresó como mg equivalentes de quercetina por g de extracto seco (QE/g de extracto seco). Los terpenos totales se determinaron cuantitativamente siguiendo el método de Ghorai y col., (2012) [33] con mentol como estándar, a una longitud de onda de 538 nm. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de mentol por mg de extracto seco (mgEM/mg de extracto seco). Los fenoles totales se determinaron mediante el método colorimétrico de Guha y col. (2011) y el propuesto por Palomino y col., (2010). Las absorbancias fueron leídas a 720 nm y se determinaron las cantidades (mg) de fenoles equivalentes a ácido tánico por gramo de material vegetal seco. Los resultados obtenidos se expresaron como mg equivalentes de ácido tánico por g de extracto seco (mg AT/g extracto seco) [34, 35]. Por último, el ácido salicílico se cuantificó siguiendo el método de Warriar y col., (2013) y las absorbancias fueron leídas a 450 nm. Los resultados se expresaron como μg equivalentes de ácido salicílico por mg de extracto seco ($\mu\text{g EAS/mg}$ de extracto seco). Para todas las lecturas se utilizó un equipo de la marca Jenway Genova [36].

Análisis estadístico

Se realizaron análisis multivariados en donde se consideraron de manera simultánea las variables correspondientes a la cuantificación total de los metabolitos secundarios. Se realizó por comparación entre las concentraciones de metabolitos secundarios totales presentes en los extractos metanólicos de las poblaciones de *J. spicigera*. Con esto, se logró conocer si existen diferencias significativas entre las poblaciones y se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) seguido de un Análisis de Varianza Múltiple por Permutaciones (PERMANOVA) de una vía para indicar similitudes entre los grupos metabólicos internamente. Las diferencias significativas se estimaron con la prueba F de Fisher para comprobar la variación de composición entre las poblaciones de *J. spicigera* ubicadas en cada comunidad totonaca de estudio. Toda la estadística se realizó utilizando el software Paleontological Statistics, versión 3.19 (PAST) de análisis de datos científicos.

Resultados y discusión

Comunidades seleccionadas

De acuerdo a los criterios de selección, se seleccionaron para el trabajo las comunidades de Filomeno Mata, Talpila, El Chote, Buena Vista y Reforma Escolín, en donde las características socioeconómicas son similares y entre sus características físicas difieren en altitud, clima, tipo de suelo y vegetación, logrando identificar factores abióticos diferenciados que se relacionan directamente con el desarrollo vegetativo y la expresión metabólica de la especie, es decir, los factores abióticos en las comunidades seleccionadas tienen impacto en la ecología de las poblaciones de *J.spicigera*, como lo menciona Rice (2012), los metabolitos secundarios pueden interactuar con otra planta y/o con los componentes abióticos y bióticos, produciendo un efecto negativo o positivo sobre ella [37]. Por lo tanto el uso humano, influye en la ecología de *J.spicigera*, siendo las condiciones ambientales una fuerte influencia en la síntesis de los compuestos con actividad potencial, sufriendo consecuencias por su constante interacción con el ambiente, pudiéndose modificar su composición y/o síntesis por las distintas condiciones ambientales, según lo describe Kobayashi (2004) [38].

En función a lo anterior, la altitud de las comunidades de estudio tiene un valor promedio de 214 msnm, siendo la comunidad de Filomeno Mata la de mayor altura y las comunidades de Reforma Escolín y Buena Vista las más cercanas al nivel del mar, con una altitud de 145 msnm (Tabla 1).

Tabla 1. Principales factores abióticos de las comunidades totonacas de estudio.

Comunidad	Altitud promedio	Clima	Precipitación media anual	Temperatura media anual	Tipo de suelo predominante	Tipo de vegetación
Filomeno Mata, FM	303 msnm	Semicálido húmedo	3000 mm	23°C	Leptosol	Pastizal y selva
Talpila, Zozocolco de Hidalgo	280 msnm	Semicálido húmedo	3000 mm	24°C	Litosol	Selva y bosque
El Chote, Coatzintla	195 msnm	Cálido subhúmedo	1350 mm	25°C	Regosol	Pastizal y selva
Buena Vista, Espinal	145 msnm	Cálido húmedo	1750 mm	25°C	Regosol	Pastizal y selva
Reforma Escolín, Papantla	145 msnm	Cálido subhúmedo	1350 mm	25°C	Regosol	Pastizal y selva

En estas comunidades las personas conservan parte de las manifestaciones culturales propias de los totonacas como vestimenta tradicional, la persistencia de rasgos físicos faciales y corporales, creencias étnicas, el conocimiento tradicional del uso de plantas medicinales y la lengua totonaca acompañada del español. Los miembros de la comunidad se autodenominan dentro 4 subregiones que componen el Totonacapan [39], siendo las siguientes: totonaco de la Sierra, totonaco de Papantla, totonaco de Misantla y totonaco del Norte, logrando ubicar a las comunidades de estudio en las regiones de la Sierra y Papantla como se muestra en la Figura 1.

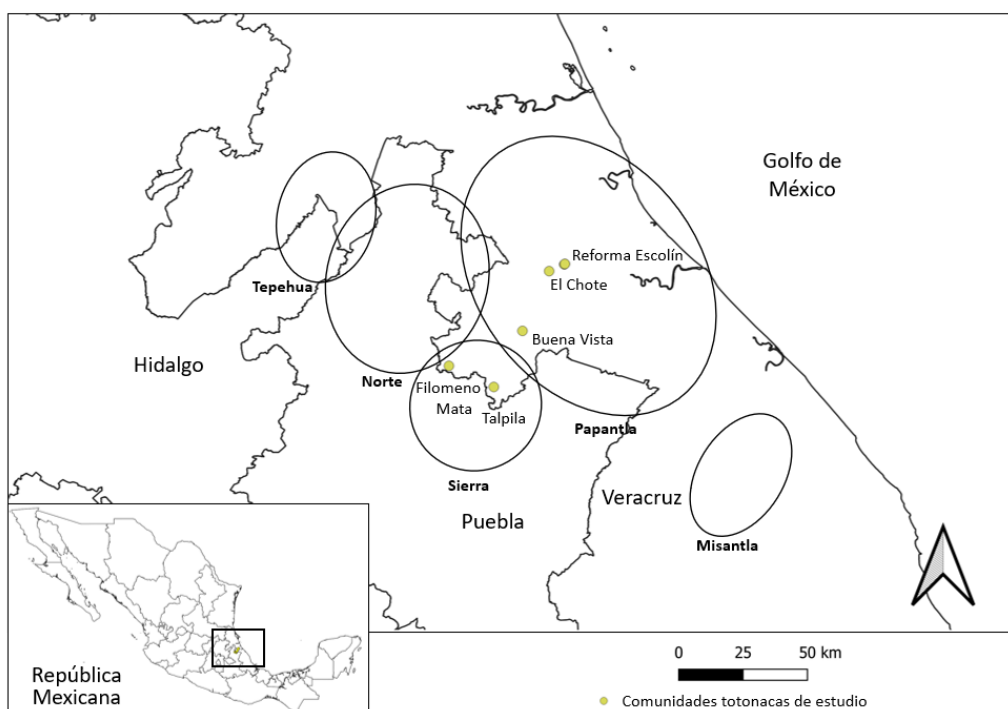


Figura 1. Organización regional totonaca, ubicación de las comunidades totonacas de estudio. Totonaco de Papantla (El Chote, Reforma Escolín y Buena Vista), Totonaco de la Sierra (Filomeno Mata y Talpila). (Basado en la clasificación descrita por Brown et al., 2011) [39].

Quantificación de metabolitos secundarios totales

El extracto con mayor rendimiento es el correspondiente a la comunidad de Reforma Escolín, con 10.25 % y el correspondiente a la comunidad de Talpila tuvo un rendimiento más bajo con 6.30 % respectivamente al material vegetal utilizado. En contraparte, de acuerdo a lo hallado por Salcedo y Cruz (2018), 200 g de hojas de *J.spicigera* tuvieron rendimiento del 46.05 %, por lo tanto, la parte vegetativa podría influir en el rendimiento bruto [11].

Los resultados obtenidos en las pruebas fitoquímicas de cuantificación de metabolitos totales, en la mayoría de los casos fueron consistentes con lo reportado en la literatura. Las pruebas cuantitativas de los extractos MetOH de vástago de *J.spicigera* mostraron presencia de terpenos, alcaloides, flavonoides, fenoles y ácido salicílico perteneciente al grupo de los terpenos, tal y como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis fitoquímico cuantitativo de los extractos metanólicos de *J.spicigera*

	Terpenos	Alcaloides	Flavonoides	Fenoles	Ácido salicílico
Comunidad	(ME ± S.D) µg/mg				
Reforma Escolín	0.0320 ± 0.0006	1.5288 ± 0.4836	51.3985 ± 1.4082	41.8768 ± 3.5593	94.2368 ± 3.9566
Buena Vista	0.0234 ± 0.0014	8.3750 ± 0.2668	58.9347 ± 0.8866	48.3115 ± 3.9566	300.0789 ± 7.2275
El Chote	0.0491 ± 0.0043	8.8365 ± 0.5548	75.1666 ± 1.1473	70.3115 ± 0.8108	284.8158 ± 1.2145
Talpila	0.0614 ± 0.0018	12.7019 ± 0.6171	92.2971 ± 0.2209	85.2536 ± 1.02935	465.9211 ± 8.2242
Filomeno Mata	0.1081 ± 0.0019	11.1634 ± 0.9504	78.4710 ± 0.6589	40.4130 ± 2.8842	173.2895 ± 9.9625

ME: Promedio, media

S.D.: Desviación estándar

MetOH 100%: Extractos metanólicos

*Todos los valores a una concentración de µg/mg de extracto seco

Destaca la presencia de ácido salicílico (Figura 4) en las cinco comunidades de estudio, siendo la más representativa la comunidad de Talpila. Las comunidades de Reforma Escolín, Buena Vista y Coatzintla tienen concentraciones similares de flavonoides y fenoles (Figura 5; Figura 6), destacando la comunidad de Talpila en concentración de flavonoides y fenoles totales, similar a lo descrito por Salcedo y Cruz (2018), en donde se observan bandas amarillas en cromatografías en capa fina, dando así positivo para la presencia de glicósidos de kaempferol y bandas azul violácea pertenecientes a glicósidos cumarínicos [11]. La presencia de alcaloides (Figura 7) y terpenos (Figura 8) se encuentran por debajo de las concentraciones de los otros grupos metabólicos en las comunidades de estudio, lo que coincide con lo descrito por Chávez (2021) en donde mediante pruebas espectrofotométricas UV/VIS se logró determinar una mayor concentración de fenoles totales (38576,475 mg/100g) presentes en extractos de hojas de *J.spicigera* [40].

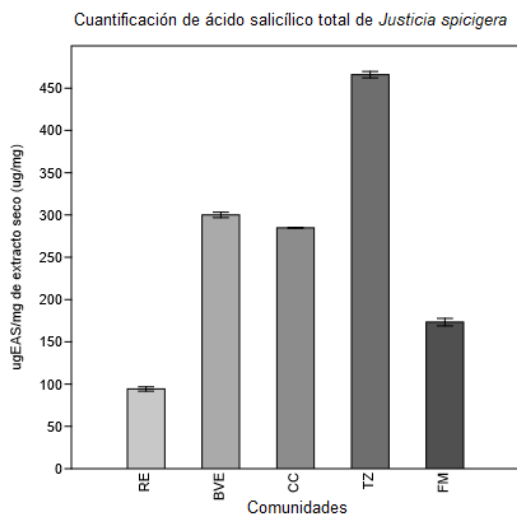


Figura 4. Cuantificación de ácido salicílico total de *Justicia spicigera*. RE, Reforma Escolín, Papantla de Olarte; BVE, Buena Vista, Espinal; CC, El Chote, Coatzintla; TZ, Talpila, Zozocolco de Hidalgo; FM, Filomeno Mata, Filomeno Mata.

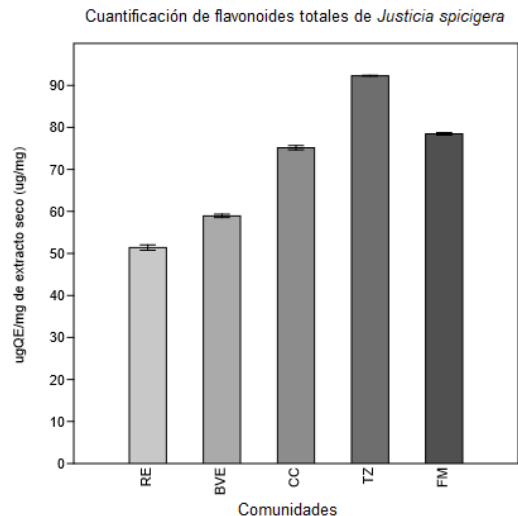


Figura 5. Cuantificación de flavonoides totales de *Justicia spicigera*. RE, Reforma Escolín, Papantla de Olarte; BVE, Buena Vista, Espinal; CC, El Chote, Coatzintla; TZ, Talpila, Zozocolco de Hidalgo; FM, Filomeno Mata, Filomeno Mata.

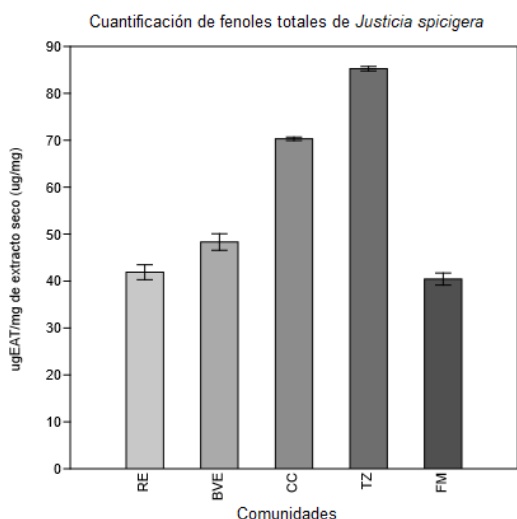


Figura 6. Cuantificación de fenoles totales de *Justicia spicigera*. RE, Reforma Escolín, Papantla de Olarte; BVE, Buena Vista, Espinal; CC, El Chote, Coatzintla; TZ, Talpila, Zozocolco de Hidalgo; FM, Filomeno Mata, Filomeno Mata.

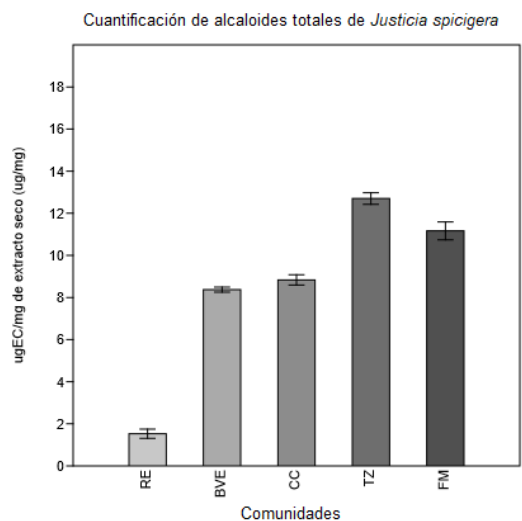


Figura 7. Cuantificación de alcaloides totales de *Justicia spicigera*. RE, Reforma Escolín, Papantla de Olarte; BVE, Buena Vista, Espinal; CC, El Chote, Coatzintla; TZ, Talpila, Zozocolco de Hidalgo; FM, Filomeno Mata, Filomeno Mata.

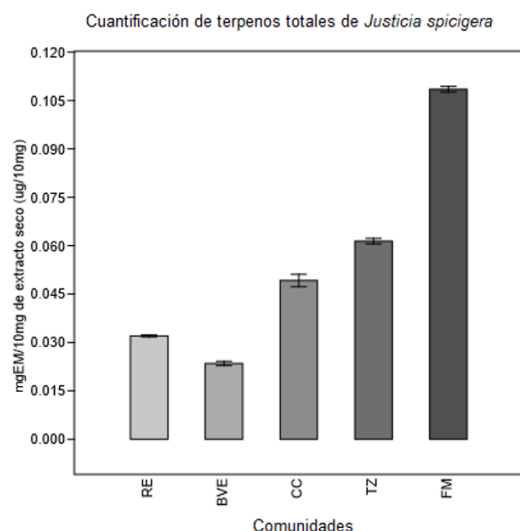


Figura 8. Cuantificación de terpenos totales de *Justicia spicigera*. RE, Reforma Escolín, Papantla de Olarte; BVE, Buena Vista, Espinal; CC, El Chote, Coatzintla; TZ, Talpila, Zozocolco de Hidalgo; FM, Filomeno Mata, Filomeno Mata.

En este sentido, de acuerdo con los resultados y según la revisión de Núñez (2020), el alto contenido en flavonoides puede estar relacionado con la actividad hipoglucemiante y en el tratamiento de complicaciones diabéticas, incluyendo dentro de esta familia de compuestos bioactivos a la kaempferitrina y las antocianinas [2], corroborando el uso tradicional en comunidades totonacas para el tratamiento de la diabetes. El color de los extractos de *J.spicigera* son de tonalidad azulada, propio de las antocianinas presentes, que son pigmentos hidrosolubles que otorgan el color rojo y púrpura o azul visible al ojo humano, descrito también en el estudio de Salcedo y Cruz (2018), en donde utilizan extractos de *J.spicigera* en pruebas preliminares para su implementación como pigmento natural en la industria cosmética [11] y usado también en la comunidad de Reforma Escolín para teñir algodón y elaborar la vestimenta tradicional de la región.

En relación a lo presentado se procedió a realizar un PERMANOVA de una vía, dando un valor de $p(0.0001)$ lo que indica que internamente las poblaciones de *J.spicigera* provenientes de comunidades totonacas son similares en función a los metabolitos secundarios cuantificados pero entre las cuantificaciones totales son diferentes entre sí, por lo tanto hay diferencias significativas entre las poblaciones de *J.spicigera* en función a la cuantificación total de los metabolitos secundarios presentes. Las diferencias significativas se observan principalmente entre las concentraciones de ácido salicílico con respecto a las concentraciones de fenoles, alcaloides, flavonoides y terpenos. En función a lo anterior y a los antecedentes consultados, las especies del género *Justicia* tienen una gran diversidad de especies químicas, principalmente alcaloides, lignanos, flavonoides y terpenos [39], lo cual coincide con la fitoquímica preliminar de este trabajo. Otros compuestos químicos como aceites esenciales, vitaminas, ácidos grasos y salicílico han sido aislados de especies del género *Justicia*. Así mismo, de extractos hidroalcohólicos de *J.spicigera* se han aislado flavonoides con propiedades antimicrobianas y antiinflamatorias, y kaempferitrina utilizada en modelos animales para probar su efecto antidepresivo, el género *Justicia*, incluyendo a *J. spicigera*, la cual contiene una alta cantidad de flavonoides libres y glucósidos polares [3].

Así mismo, utilizando el índice de correlación para analizar la matriz de datos de cuantificaciones totales de metabolitos secundarios, se observa que la comunidad de Reforma Escolín muestra mayor diferencia con respecto a las comunidades de Talpila, Buena Vista, Filomeno Mata y El Chote. Las comunidades de El Chote y Talpila muestran mayor similitud entre las cuantificaciones de metabolitos secundarios, como se muestra en la Figura 9.

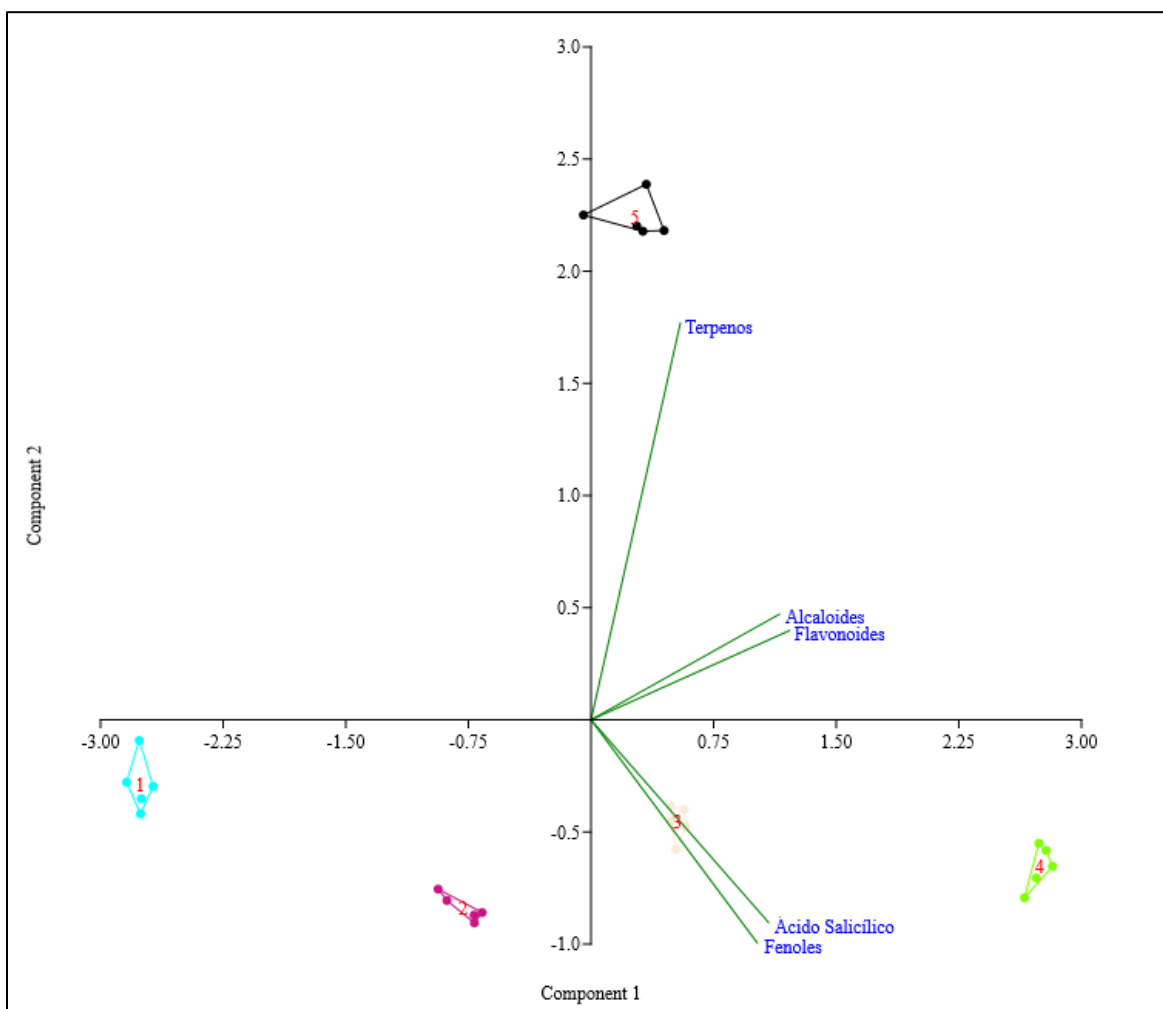


Figura 9. Análisis de componentes principales (PCA) entre las comunidades totonacas de estudio y sus grupos de metabolitos secundarios totales. 1, Reforma Escolín; 2, Buena Vista; 3, El Chote; 4, Talpia; 5, Filomeno Mata.

Trabajo a futuro

En consecuencia, es necesario realizar investigaciones que profundicen el conocimiento sobre la fitoquímica de *Justicia spicigera* considerando el potencial bioactivo de los metabolitos secundarios presentes, como los flavonoides y alcaloides. Así mismo, realizar estudios enfocados en las propiedades biológicas de los extractos, fracciones, compuestos puros y aceites esenciales presentes en esta especie de importancia y uso humano.

Conclusiones

El conocimiento tradicional practicado en las comunidades totonacas tiene relación con el ambiente en donde se desarrollan. En Veracruz la cultura totonaca tiene lugar en varias comunidades, un ejemplo de ello son Reforma Escolín, Talpia, Buena Vista, Filomeno Mata y El Chote, en estas, se conservan manifestaciones culturales, como el conocimiento tradicional del uso de plantas medicinales y/o tradicionales. En estas comunidades se distribuye *J.spicigera*, los miembros de las comunidades hacen uso de esta planta con fines ceremoniales y terapéuticos. Esta especie de uso tradicional contiene metabolitos secundarios, se logró demostrar la presencia de fenoles, terpenos, alcaloides, flavonoides y ácido salicílico, en diferentes concentraciones entre las poblaciones de *J.spicigera*, siendo el ácido salicílico y los flavonoides los de mayor concentración. En este sentido, *J.spicigera* presenta propiedades medicinales atribuidas a la presencia de sus compuestos bioactivos entre los que destacan los flavonoides y fenoles en extractos metanólicos. La determinación de metabolitos secundarios en vástago de *J. spicigera* es posible realizarlo por métodos espectrofotométricos UV/VIS.

Referencias

- [1] Missouri Botanical Garden, T. *Tropicos*. Recuperado de: <https://www.tropicos.org/name/Search?name=justicia%20spicigera>, 2021.
- [2] T. L. Núñez, "Evaluación del efecto hipoglicemiante de los extractos acuosos atomizados de *Cúrcuma longa* y *Justicia spicigera* in vivo," *Repositorio de la Universidad Científica del Perú*, 1133, 2020.
- [3] J. Cassani, A. M. B. Dorantes, L. M. Novales, G. A. Real, and, R. R. Estrada, "Anti-Depressant-Like Effect of Kaempferitrin Isolated from *Justicia spicigera* Schltidl (Acanthaceae) in Two Behavior Models in Mice: Evidence for the Involvement of the Serotonergic System," *Journal Molecules*, 19(12), 21442-21461, DOI: 10.3390/molecules191221442, 2014.
- [4] E. U. C. Pérez, A. G. Ávalos, "Metabolismo secundario de plantas," *Journal E-Prints Complutense, Repositorio Institucional de la UCM, REDUCA*, 2 (3). pp. 119-145. ISSN 1989-3620, 2009.
- [5] C.M. Valares, "Variación del metabolismo secundario en plantas debida al genotipo y al ambiente," *Tesis de doctorado, Departamento de Biología Vegetal, Ecología y Ciencias de la Tierra, Universidad de Extremadura*, 2011.
- [6] R. Jan, S. Asaf, M. Numan, Lubna, and K. M. Kim, "Plant Secondary Metabolic Biosynthesis and Transcriptional Regulation in Response to Biotic and Abiotic Stress Conditions," *Journal Agronomy*, 11(5), 968, DOI:10.3390/agronomy11050968, 2021.
- [7] S. N. Soto, "Importancia medicinal de las especies del género *Justicia* (Acanthaceae)," *Tesis de licenciatura, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Químicas, Carrera de Química Farmacéutica*, 2021.
- [8] K. L. Euler, M. Alam, "Isolation of Kaempferitrin from *Justicia spicigera*," *Journal of Natural Products*, 45(2), 220-221, DOI: 10.1021/np50020a020, 1982.
- [9] T. Mora, S. Delgado, N. R. Padilla, M. Martínez, G. Olalde, A. B. Robles, and, M. López, "Propiedades hipoglucemiantes de la especie *Justicia spicigera* Schlechtendal (Scrophulariales: Acanthaceae)," *Journal Methods in Ecology and Systematic*, 11:24-33, 2016.
- [10] L. O. Torres, M. E. Pérez, and, A. A. Contreras, "Plantas medicinales de la medicina tradicional mexicana para tratar afecciones gastrointestinales: Estudio etnobotánico, fitoquímico y farmacológico," *Journal Edicions Universitat Barcelona*, 2005.
- [11] L. F. S. Salcedo, V. S. M. Cruz, "Extracción e identificación de los metabolitos secundarios con capacidad tintórea de *Justicia spicigera* Schltidl., para su posible uso cosmético," *Journal Farmacia USAC*, 119, 2018.
- [12] G. V. Subbaraju, J. Kavitha, D. Rajasekhar, J. I. Jiménez, "Jusbetonin the First Indolo[3,2- b]quinoline Alkaloid Glycoside, from *Justicia betonica*," *Journal of Natural Products*, 67(3), 461-462, DOI: 10.1021/np030392y, 2004.
- [13] S. Susplugas, N. V. Hung, J. Bignon, O. Thoison, A. Kruczynski, T. Sévenet, F. Guéritte, "Cytotoxic Arylnaphthalene Lignans from a Vietnamese Acanthaceae," *Journal of Natural Products*, 68(5), 734-738, DOI: 10.1021/np050028u, 2005.
- [14] I. P. Baqueiro, B. Guerrero, "Uses of *Justicia spicigera* in medicine and as a source of pigments," *Journal Functional Foods in Health and Disease*, 4(9), 401-414, DOI: 10.31989/ffhd.v4i9.150, 2014.
- [15] N. C. Girón, "Evaluación de la actividad antidiabética y antioxidante in vitro de extractos polares de *Justicia spicigera* y elucidación estructural de los compuestos fenólicos mayoritarios," *Repositorio UTM*, 2015.
- [16] E. A. Vega, R. A. Tapia, R. C. Reyes, S. L. G. Guzmán, J. F. Pérez, "Actividad antibacteriana y antifúngica de *Justicia spicigera*," 2012.
- [17] C. P. Fernández, "Efecto de los extractos etanólicos/acuosos y la viabilidad de la línea celular de carcinoma prostático LNCaP," *Repositorio de la Universidad Veracruzana*, 2015.
- [18] V. E. V. Macias, R. P. Badrán, J. O. Rodríguez, and H. R. Silva, "Metabolitos secundarios, actividad biológica y etnobotánica de plantas de Santa Marta," *Journal UNIMAGDALENA*, vol. 1, ISBN: 978-958-746-406-1, DOI: 10.21676/9789587464061, pp.398, 2021.
- [19] C. MacKay, and F. Trechsel, "A Sketch of Pisasflores Tepehua Phonology," *International Journal of American Linguistics, ResearchGate*, 79(2):189-218, DOI: 10.1086/669628, 2013.
- [20] INPI, Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas. *Atlas de los Pueblos Indígenas de México, Totonacos*, ID:2414, 2022.
- [21] INPI, Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas. *Atlas de los Pueblos Indígenas de México, Totonacos*, ID:2414, 2022.
- [22] Cuadernillos Municipales, *Coatzintla, Espinal, Filomeno Mata, Papantla de Olarte, Zozocolco de Hidalgo*, Recuperado de: <http://ceieg.veracruz.gob.mx/2020/12/03/cuadernillos-municipales-2020>, 2020.

- [23] C. D. Valle, and, M. de N. Dufour, "Utilización de tecnología satelital para determinar la estimación de superficies agrícolas: Método de segmentos aleatorios," *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 16 (SBSR), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2013.
- [24] G. E. Rubio, "Explotación de herramientas digitales cartográficas en apoyo a ejercicios y operaciones," *Repositorio Institucional de Documentos, Universidad Zaragoza*, TAZ-TFG-2018-4020, 2018.
- [25] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), "Norma Oficial Mexicana NOM 059 – SEMARNAT - 2010," *Profepa, Recuperado de: gob.mx*.
<http://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-059-semarnat-2010>, 2010.
- [26] G. V. Soberon, C. Rojas, J. Saavedra, M. J. Kato, and, G. E. Delgado, "Acción biocida de plantas de *Piper tuberculatum* Jacq. Sobre *Diatraea saccharalis* (Lepidóptera, Pyralidae)," *Journal Peruan of Biology*, 13(1), 107-112, 2006.
- [27] L. A. Rojas, C. Jaramillo, and, M. Lemus, "Métodos analíticos para la determinación de metabolitos secundarios de plantas," *Repositorio Digital, Machala: Ecuador, Universidad Técnica de Machala*, 48000, 6653, 2015.
- [28] M. E. Moreno, S. González, L. Acevedo, G. Morales, M. Betancur, J.J. López, and, C. A. Peláez, "*Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae): a biological model to define the standardization of natural extracts with insecticidal activity (neem- *Azadirachta indica* – a special case)," *Journal Colombian of Entomology*, 26(1/2), 51-55, 2000.
- [29] F. Shamsa, "Spectrophotometric Determination of Total Alkaloids in *Peganum harmala* L. Using Bromocresol Green," *Journal Science Alert*, DOI: 10.3923, 2008.
- [30] J. Biju, S. George, and, V. Reddy, "Spectrophotometric estimation of total alkaloids in selected *Justicia* species," *Semantic scholar, Biology*, ID: 36025328, 2014.
- [31] S. Kumazawa, T. Hamasaka, and, T. Nakayama, "Antioxidant activity of propolis of various geographic origins," *Journal Food Chemistry*, 84(3), 329-339, DOI: 10.1016/S0308-8146(03)00216-4, 2004.
- [32] N. Ghorai, S. Chakraborty, S. Guchait, S. K. Saha, and, S. Biswas, "Estimation of total Terpenoids concentration in plant tissues using a monoterpene, Linalool as standard reagent," *Protocol Exchange*, 5(10), 1038, 2012.
- [33] G. Guha, V. Rajkumar, K. Ashok, L. Mathew, "Therapeutic potential of polar and non-polar extracts of *Cyanthillium cinereum* in vitro," *Journal Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, DOI: 10.1093/ecam/nep155, 2011.
- [34] L. R. Palomino, J. P. Martínez, M. García, J. H. Gil, D. L. Durango, "Caracterización fisicoquímica y actividad antimicrobiana de propóleos en el municipio de la Unión (Antioquia, Colombia)," *Journal Scielo*, 2010.
- [35] R. Warrior, M. Paul, and, M. Vineetha, "Estimation of salicylic acid in *Eucalyptus* leaves using spectrophotometric methods," *Journal Genetics and Plant Physiology*, 3, 90-97, 2013.
- [36] E. L. Rice, "Allelopathy," *Journal Academic Press*, 1984.
- [37] K. Kobayashi, "Factors affecting phytotoxic activity of allelochemicals in soil," *Journal Weed Biology and Management*, 4(1), 1-7, DOI: 10.1111/j.1445-6664.2003.00112.x, 2004.
- [38] J. Chávez, "Determinación de metabolitos secundarios de hojas de *Justicia spicigera*, *Eryngium foetidum* y corteza de *Erythrina fusca* L. por métodos espectrofotométricos," *Repositorio UNAPIQUITOS*, 2021.
- [39] C. Brown, D. Beck, G. Kondrak, J. Watters, S. Wichmann, "Totozoquean," *International Journal of American Linguistics*, 77, 323-372, DOI: 10.1086/660972, 2011.
- [40] G. M. Corréa, and, A. F. D. C. Alcántara, "Chemical constituents and biological activities of species of *Justicia*: a review," *Journal Brasileira de Farmacognosia*, 22(1), 220-238, 2012.

Desarrollo de compósitos g-C₃N₄/ZIF-67 para su evaluación fotocatalítica en producción de hidrógeno

Jesús Sebastián Rodríguez-Girón¹, Diana Berenice Hernández-Uresti², Daniel Sánchez-Martínez^{1*}

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Departamento de Ecomateriales – Facultad de Ingeniería Civil, Av. Universidad S/N, Cd. Universitaria, 66455, San Nicolás de los Garza, NL, México.

² Universidad Autónoma de Nuevo León, CICEFIM – Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Av. Universidad S/N, Cd. Universitaria, 66455, San Nicolás de los Garza, NL, México.

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

La presente investigación reporta el desarrollo de compósitos fotocatalíticamente activos para producción de H₂, obtenidos mediante molienda mecánica a partir de la mezcla del semiconductor orgánico g-C₃N₄ (CN) y el MOF ZIF-67. Los compósitos g-C₃N₄/ZIF-67 denominados CNZ-x (X = proporción másica de ZIF-67) fueron caracterizados estructuralmente por DRX de polvos, donde se demostró que las fases cristalinas de ambos precursores se encuentran presentes en los compósitos. La morfología se determinó por SEM donde se observó que las partículas octaédricas del ZIF-67 están adheridas a la superficie de las láminas de CN, debido al efecto de unión por molienda mecánica. Los resultados obtenidos en la evolución fotocatalítica de H₂ indican que el compósito CNZ-50 presentó una producción de 52.2 μmol de H₂, siendo superior a los 45.9 μmol y 24.8 μmol logrados por el ZIF-67 y el CN respectivamente.

Palabras clave: g-C₃N₄, ZIF-67, compósitos g-C₃N₄/ZIF-67, producción fotocatalítica de H₂

Abstract

This research reports the development of photocatalytically active composites for H₂ production, obtained by mechanical grinding from the mixture of the organic semiconductor g-C₃N₄ (CN) and the MOF ZIF-67. The g-C₃N₄/ZIF-67 composites called CNZ-x (X = mass proportion of ZIF-67) were characterized by XRD of powders where it was shown that the crystalline phases of both precursors are present in the composites. The morphology was determined by SEM where it was observed that the ZIF-67 octahedral particles are adhered to the surface of the CN sheets, due to the bonding effect by mechanical grinding. The results obtained in the photocatalytic evolution of H₂ indicate that the CNZ-50 composite presented a production of 52.2 μmol of H₂, being higher than the 45.9 μmol and 24.8 μmol achieved by ZIF-67 and CN, respectively.

Key words: g-C₃N₄, ZIF-67, g-C₃N₄/ZIF-67 composite, water splitting for H₂ evolution

Introducción

En la actualidad, el consumo de combustibles fósiles no renovables aumentó considerablemente debido a la rápida expansión de la población humana y la industrialización. Además, la quema de estos combustibles fósiles libera contaminantes químicos nocivos al medio ambiente que amenazan la vida humana. Para resolver estos problemas, se requiere el desarrollo de fuentes alternativas de energía limpia y sustentable para reemplazar los actuales combustibles fósiles no renovables [1]. El hidrógeno como energía limpia, renovable y almacenable químicamente muestra un gran potencial para impulsar la sociedad futura debido a su alta densidad energética, alto poder calorífico gravimétrico y naturaleza ecológica [2], [3].

Entre las técnicas para la producción de hidrógeno, la división fotocatalítica del agua mediante energía solar sobre un fotocatalizador es un proceso ideal para convertir la energía solar en energía química [2]. La fotocatalisis consiste en que al irradiar luz en un semiconductor se genere un par electrón-hueco, los huecos (h⁺) se quedan en la banda de valencia (VB) y los electrones migran a la banda de conducción (CB) del semiconductor, los cuales interactúan con el medio y contribuyen a las reacciones de oxidación-reducción, las cuales degradan diversos tipos de contaminantes [4] Los materiales puros (solos) sufren una rápida recombinación de carga, por lo que los

investigadores desarrollaron fotocatalizadores de tipo compuesto, los cuales están compuestos de diferentes semiconductores, en los que las heterouniones producidas pueden generar la separación de carga de un compuesto a otro y mejorar la producción de hidrógeno [5], [6].

El nitruro de carbono en fase de grafito (g-C₃N₄) es un nuevo tipo de fotocatalizador semiconductor no metálico, que consta solo de elementos C y N, lo que hace que tenga ventajas obvias sobre otros fotocatalizadores metálicos [7]. El g-C₃N₄ atrajo un creciente interés en todo el mundo, desde que Wang *et al.*, en 2009 descubrieron por primera vez la evolución fotocatalítica de H₂ y O₂ sobre g-C₃N₄ [8]. El g-C₃N₄ es uno de los fotocatalizadores con una alta capacidad de reducción, debido a sus propiedades como un apropiada banda de energía prohibida de aproximadamente 2.7 eV, bajo costo, no tóxico y de excelente estabilidad [9]–[11]. Sin embargo, factores como la alta tasa de recombinación de las cargas fotoinducidas, la superficie específica baja y los sitios activos limitados siguen siendo los principales obstáculos para su desarrollo y aplicación práctica [12].

Los polímeros metal-orgánicas o MOF por sus siglas en inglés (Metal-Organic Frameworks) son una nueva clase de materiales de estructura porosa que se desarrollaron rápidamente en los últimos años. Estos MOF, se sintetizan a partir de iones metálicos o agrupaciones de metales como nodos, y múltiples ligandos orgánicos como conectores que dan paso a la formación de redes de coordinación en 1D, 2D o 3D [13], [14]. Al igual que los semiconductores de óxidos metálicos, los MOF también se pueden fotoexcitarse para producir pares de electrones y huecos. En los óxidos metálicos, los iones metálicos están unidos por los iones O²⁻. De manera similar, los ligandos orgánicos en los MOF pueden hacer la "función" de los iones O²⁻ en los óxidos metálicos. Por lo tanto, desde el punto de vista de la estructura de bandas, la banda de conducción (CB) de los MOF se construye con los orbitales externos vacíos de los centros metálicos y la banda de valencia se compone principalmente de los orbitales externos de los ligandos orgánicos. Recientemente, la aplicación fotocatalítica de MOF para la producción de hidrógeno mediante la división fotocatalítica del agua atrajo una gran atención debido a las propiedades únicas de los MOF como su porosidad ultra alta, área de superficie alta para sitios activos accesibles, ligandos orgánicos funcionalizados y sitios de metales catalíticamente activos).

Para mejorar la actividad fotocatalítica del g-C₃N₄ y de los MOF evitando la recombinación del par electrón-hueco, el presente trabajo reporta la síntesis, caracterización y producción fotocatalítica de H₂ a partir de los compósitos híbridos formados por el g-C₃N₄ y el MOF de tipo zeolita ZIF-67.

Metodología

Síntesis de g-C₃N₄ (CN)

Los polvos de g-C₃N₄ (CN) se obtuvieron mediante un tratamiento térmico de 10 g de Melamina (Sigma Aldrich, 99%) en un horno eléctrico a una temperatura 550°C por 4.5 h. Posteriormente, el polvo amarillo resultante se trituró en un mortero y fue sometido a otro tratamiento térmico de 500°C por 2 h.

Síntesis de ZIF-67

Se disolvieron 0.476 g (2 mmol) de CoCl₂·6H₂O (Sigma Aldrich, 98%) en 15 mL de H₂O destilada, posteriormente, 3.284 g (40 mmol) de 2-metilimidazol (Sigma Aldrich) fueron disueltos en 15 mL de H₂O destilada. Ambas soluciones se mezclaron y se transfirieron a un contenedor de teflón recubierto de acero inoxidable, el cual fue sellado y se calentó a 120°C por 2 h. El polvo morado resultante fue centrifugado a 4500 rpm por 10 minutos y se secó a 80°C por 24 h.

Síntesis de compósitos CNB

La síntesis de los compósitos se realizó combinando CN y ZIF-67, mediante molienda mecánica empleando un molino de bolas Planetary Micro Mil PULVERISETTE 7. Las condiciones de molienda para preparar los compósitos fueron 500 rpm por 5 min. Los materiales precursores CN-ZIF-67 se colocaron las siguientes relaciones porcentuales de masa en los tazones de molienda: 90-10%, 50-50 %, 10-90%. Los compósitos resultantes se denominaron CNB-x (x = proporción másica de ZIF-67).

Caracterización

La caracterización estructural de los materiales precursores y los compósitos CNB se realizó mediante análisis de difracción de rayos X (DRX) de polvos en un difractómetro BRUKER D8 ADVANCED con radiación CuK α ($\lambda=1.5418\text{\AA}$) equipado con un detector Vantec de alta velocidad. Los datos de DRX fueron evaluados en el rango 2θ de $5-45^\circ$. Para calcular el tamaño de cristalito se empleó la ecuación de Scherrer (Ec. 1) [15]:

$$L = \frac{k\lambda}{\beta \cos(\theta)} \quad (1)$$

donde L es el tamaño de cristalito, k es la constante de Scherrer, usualmente tomada como 0.89, λ es la longitud de onda de la radiación de rayos X (1.5418\AA), β es el ancho completo de la mitad del máximo pico de difracción medido a 2θ (FWHM) y θ es el ángulo de difracción de dicho pico. La distorsión de la red se calculó mediante la Ec. 2 [16]:

$$\varepsilon = \frac{\beta}{4 \tan(\theta)} \quad (2)$$

donde β y θ son los mismos valores utilizados para calcular el tamaño de cristalito.

Para el análisis SEM de las muestras se usó empleó un microscopio JEOL, modelo JSM-6490LV equipado con un detector de energía dispersiva de rayos X (EDS). Para las mediciones, se utilizó una oblea de acero inoxidable como porta muestras, con una cinta de cobre donde se colocó el material a analizar. Después se retiró el exceso de polvo con aire comprimido y se realizó un recubrimiento con oro-paladio (Au-Pd).

El área superficial de los precursores y compósitos fue determinada por método Brunauer-Emmett-Teller (S_{BET}) a partir de los isothermas de adsorción-desorción de N_2 utilizando un analizador de área superficial y tamaño de poro Quantachrome NOVA 2000e. Las muestras fueron desgasificadas a 200°C por 24 h.

La energía de banda prohibida (E_g) de los materiales fue determinada mediante la medición de espectros UV-Vis de reflectancia difusa (DRS-UV-Vis) en un rango de 200 a 800 nm medidos en un espectrofotómetro Cary 500 UV-Vis NIR equipado con esfera de integración. Para obtener los espectros los materiales se colocaron en un porta muestras cilíndrico, con una cavidad especial para evitar la pérdida de polvo durante la medición.

Los espectros DRS-UV-Vis se analizaron mediante la función de Kubelka–Munk $[F(R)]$ mediante la Ec.3 [17]:

$$F(R) = \frac{(1 - R)^2}{2R} \quad (3)$$

Donde R es la reflectancia de la muestra. Por último, se calculó el valor de E_g para una transición directa extrapolando una línea recta a la pendiente del eje x, utilizando la Ec 4 [15].

$$E_g = \frac{1240}{\lambda_g} \quad (4)$$

Donde λ_g es la longitud de onda en nm y E_g es la energía de banda prohibida.

Pruebas fotocatalíticas

Las pruebas de producción fotocatalítica de H₂ se realizaron en un reactor Pyrex tipo batch, en el cual se suspendieron 0.2 g de los materiales a evaluar en 200 mL de agua destilada y se mantuvieron en agitación continua. Antes de la irradiación, se desgasificó el reactor y se purgó con N₂. El reactor se irradió con una lámpara UV de 254 nm y 4400 μW/cm². Durante la irradiación, el gas generado se midió con un cromatógrafo de gases Shimadzu GC-2014.

Resultados y discusión

DRX

En la Fig. 1 a y b se muestra el patrón de DRX simulado del ZIF-67 y el obtenido por vía hidrotermal, se observa que todas las reflexiones del patrón experimental coinciden con el simulado, corroborando la correcta síntesis del MOF, tal como lo indican previos reportes [20]. Sin embargo, el ZIF-67 tiene una orientación preferencial en el plano (222) que se encuentra en $2\theta = 18.02^\circ$, mediante el cual se calcularon el tamaño de cristalito y la distorsión de la red, dando como resultado 67 nm y 0.351%, respectivamente.

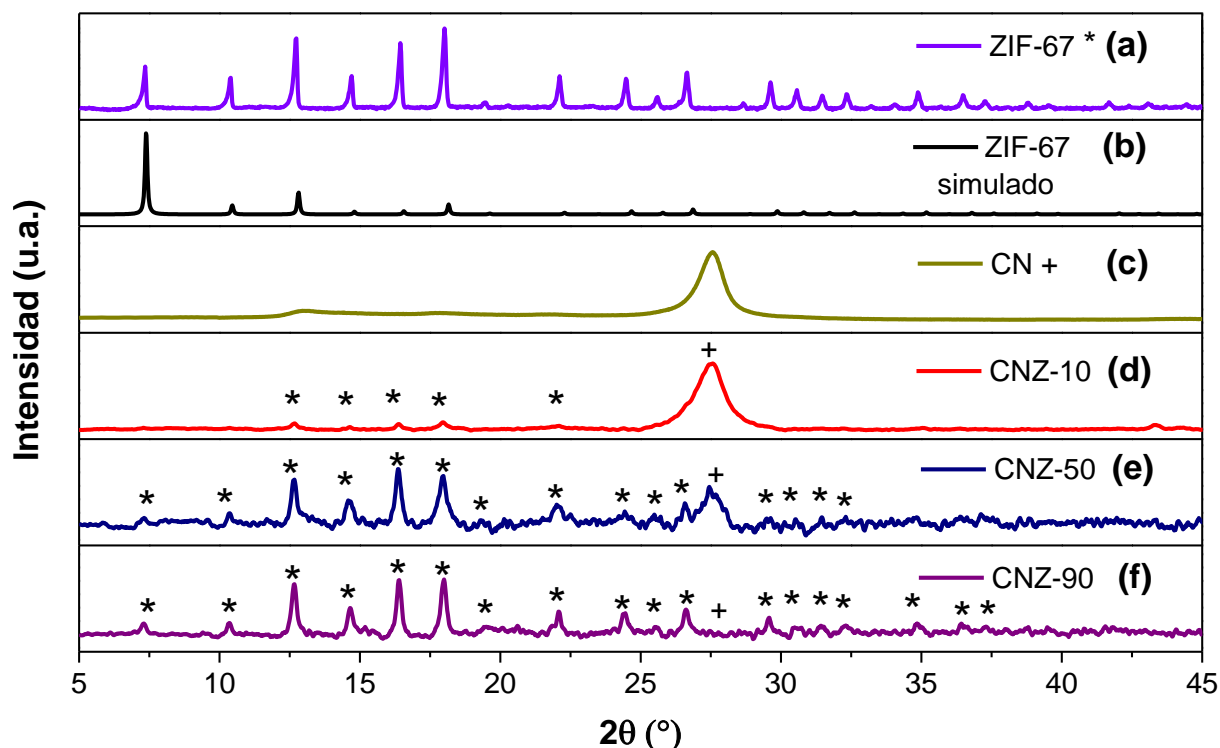


Figura 1. Difractogramas de CN, ZIF-67 y compósitos CNZ-x

La Fig. 1c se muestra la fase cristalina del CN, en la cual se encontraron dos picos de difracción principales a 13.1° y 27.6° (2θ), lo cual indica la correcta síntesis del material [18]. El pico de difracción de 13.1° se asocia con el plano (100) del CN y corresponde a una distancia interplanar de 0.676 nm. El pico de difracción a 27.4° está asociado al plano (002), el cual se atribuye al apilamiento del sistema aromático conjugado en el material [19]. El pico de difracción con mayor intensidad se empleó para calcular el tamaño de cristalito el cual es de 21.7 nm y presenta una distorsión de la red de 0.687%.

El patrón de DRX del compuesto CNZ-10 se muestra en la Fig. 1d, en la cual se observa el plano (002) perteneciente al CN a 27.6° , siendo el plano de mayor intensidad en el compuesto. La mayoría de planos característicos del ZIF-67 no se encuentran visibles, por la baja proporción del MOF en el compuesto. Los planos pertenecientes al ZIF-67 que prevalecen en CNZ-10 son los que se encuentran en 12.65° , 14.62° , 16.40° , 17.97° y 22.07° (2θ).

En el compuesto CNZ-50 (Fig. 1e) se observan los planos característicos de las fases cristalinas del ZIF-67, como del CN (plano 002), debido a que ambos precursores se encuentran en la misma proporción. Para el caso del compuesto CNZ-90 (Fig. 1f), el plano (002) de CN presenta una baja intensidad, en cambios todos los planos del ZIF-67 hasta $2\theta = 39.5$ son visibles, por su mayor proporción másica en el compuesto.

SEM

La Fig. 2a muestra la micrografía del CN, donde se observa una morfología en forma de láminas apiladas, lo cual concuerda con la morfología característica reportada para el CN [21], [22]. La micrografía de la Fig. 2b, muestra la morfología del ZIF-67, en la cual, se observa que el MOF presenta una morfología poliédrica de ocho caras, este tipo de morfología poliédrica es común en el ZIF-67, diversas investigaciones la reportaron previamente [23]–[25]. En la Fig. 2 c y d, se observa que en los compósitos CNZ-50 y CNZ-90, las partículas octaédricas del ZIF-67 recubren la superficie de las láminas de CN, tal como lo reportó Devarayapalli *et al.*, en 2020, para un compuesto g-C₃N₄/Co-MOF, sintetizado por irradiación de microondas [26].

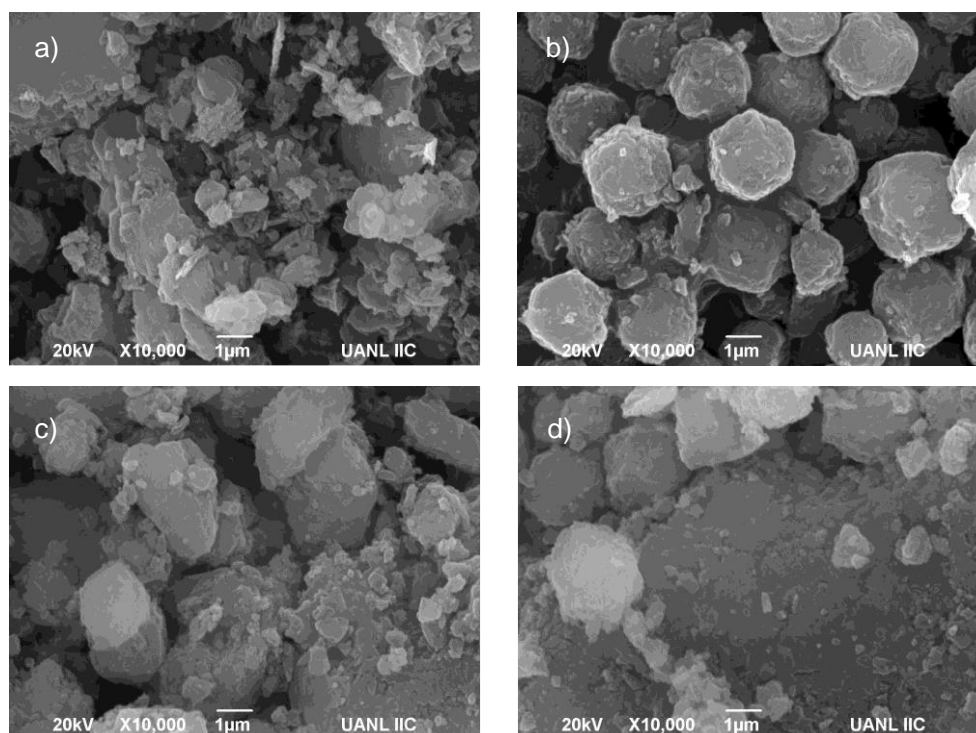


Figura 2. Micrografías SEM a) CN, b) ZIF-67, c) CNZ-50 y d) CNZ-90

BET

El S_{BET} medido por fisisorción de N₂ para CN dio como resultado un área superficial de 15 m²g⁻¹, valor que se encuentra dentro de las áreas reportadas por Xu *et al* en 2015, que van desde 4.95 hasta 26.02 m²g⁻¹ para muestras de g-C₃N₄ calcinadas a diferentes temperaturas. La Fig. 3a muestra el isoterma de adsorción que presenta el semiconductor CN el cual es de tipo III, lo que indica que el material posee macroporos y tiene una baja energía de adsorción [27].

El área superficial determinada por S_{BET} para el ZIF-67 fue de 1100 m²g⁻¹, valor cercano al reportado por Askari *et al.*, en 2020 [28]. La isoterma de adsorción del ZIF-67 (Fig. 3b) resultó de tipo I, lo cual indica que es un material de tipo microporoso con alta energía de adsorción.

Las áreas superficiales para los compósitos medidas por S_{BET} fueron de 401 m²g⁻¹, 146 m²g⁻¹ y 43 m²g⁻¹ para CNZ-90, CNZ-50 y CNZ-10, respectivamente. Entre mayor es la proporción de CN en el compuesto el área superficial tiende a bajar, tal como lo reporta Zhang *et al.*, en 2018 para un compuesto a base de MOF y CN [29]. En la Fig.

3 c, d y e se muestran los isotermas de adsorción de los compósitos CNZ-90, CNZ-50 y CNZ-10, respectivamente, donde se observa que estos coinciden con el isoterma de tipo III

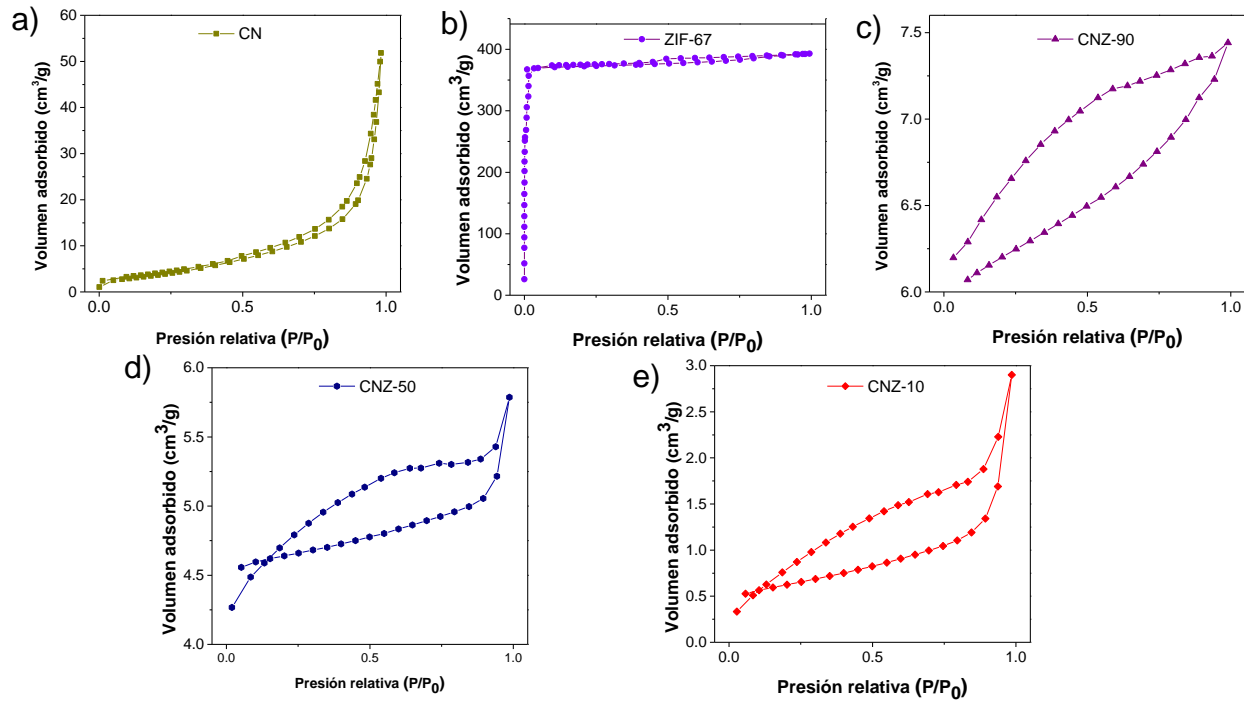


Figura 3. Isotermas de adsorción a) CN, b) ZIF-67, c) CNZ-90, d) CNZ-50 y e) CNZ-10

DRS-UV-Vis

Las propiedades ópticas de CN, ZIF-67 y los compósitos CNZ se determinaron mediante espectroscopia DRS-UV-Vis, los espectros resultantes fueron analizados por la función $F[R]$ se muestran en las Fig. 4^a y 4^b, respectivamente. El CN puede absorber luz de 200 a 450 nm, lo cual le permite excitarse en una región del espectro visible. Mediante la función $F(R)$ se calculó el E_g de CN en 2.73 eV, valor que está dentro del rango de entre 2.4 y 2.8 eV reportado por Dong *et al.*, en 2015 para diferentes muestras de g-C₃N₄ [30].

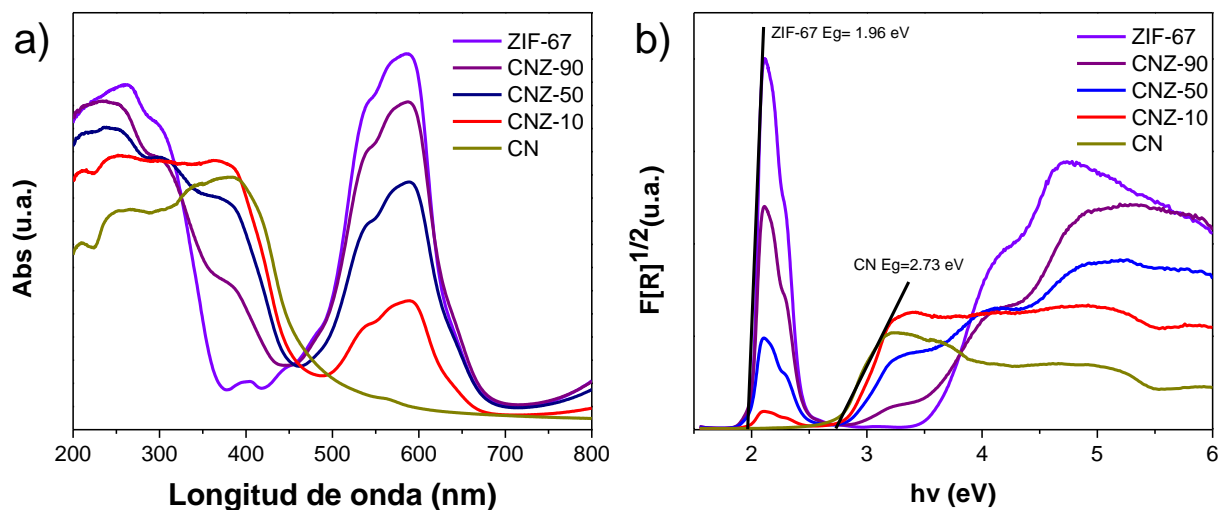


Figura 4. Espectros a)DRS-UV-Vis y b)Función $F[R]$

El espectro DRS-UV-Vis demuestra que el ZIF-67 puede absorber luz en la región ultravioleta, como en la visible, su mayor pico de absorbancia se encuentra en 594 nm. También se identificó que en la región de 500 a 650 nm de longitud de onda se encuentran picos atribuibles a la transición provocada por los orbitales d-d de los iones Co^{2+} [31]. La transición Co-N correspondiente a la transferencia de carga entre metal-ligante se encuentra en la región de 200 a 320 nm. La combinación de estas dos características es indicativa de que el Co^{2+} se coordinó de forma tetraédrica [32]. El E_g del ZIF-67 se calculó mediante el análisis por la función $[F(R)]$, dio como resultado 1.95 eV, valor cercano a lo reportado por Yu *et al.*, en 2020 y Reda *et al.*, en 2019 [33], [34].

En el compuesto CNZ-90 su espectro DRS-UV-Vis es muy similar al del ZIF-67, pero con una región de absorción de luz visible alrededor de 400 nm, provocada por el CN, aparte de la región característica del ZIF-67 de entre 500 y 650 nm. El compuesto CNZ-50 muestra las transiciones características de ambos precursores en el espectro DRS-UV-Vis, debido a que ambos precursores se encuentran en igualdad de proporción. CNZ-10 presenta una similitud con el espectro del CN, pero con la transición correspondiente a los orbitales d-d de los centros metálicos de Co^{2+} pertenecientes al ZIF-67, aunque con una menor absorbancia. Los espectros DRS-UV-Vis confirman que los compósitos CNZ-x son más activos en el espectro electromagnético en las regiones ultravioleta y visible que sus precursores.

Producción fotocatalítica de H_2

La producción fotocatalítica de H_2 se evaluó en los materiales precursores y los compósitos a un tiempo de 3 horas bajo irradiación de una lámpara UV de 254 nm. En la gráfica de la Fig. 5 se observa la producción lograda por los materiales evaluados.

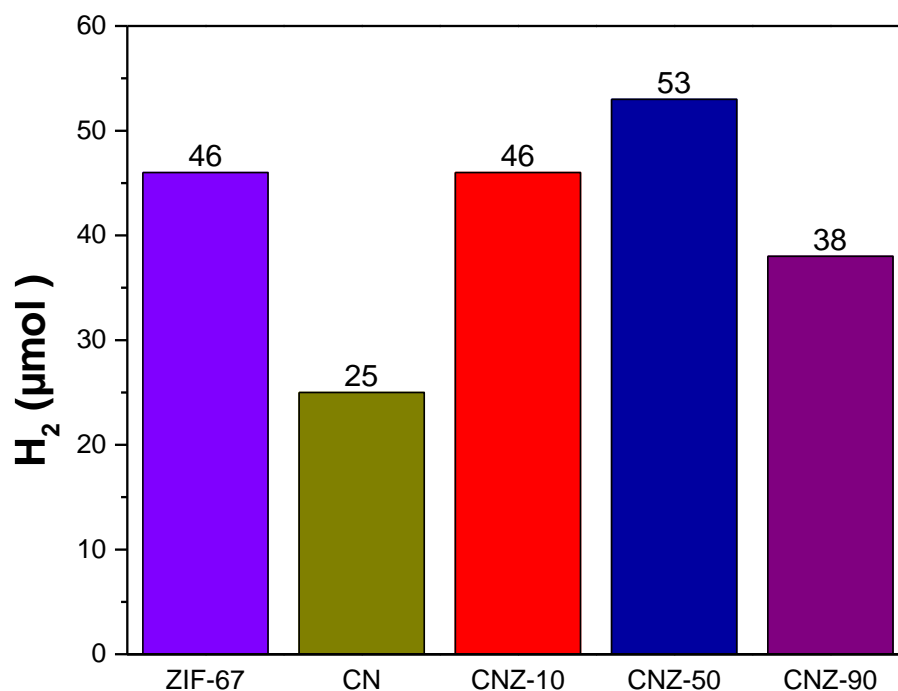


Figura 5. Producción fotocatalítica de H_2 (μmol) de ZIF-67, CN y compósitos CNZ-x

Se observa que el precursor ZIF-67 consiguió una producción de H_2 de 46 μmol y el precursor CN logró 25 μmol . El compuesto CNZ-10 alcanzó a producir 46 μmol de H_2 , quedándose a la par del ZIF-67, sin obtener una mejora respecto a uno de los precursores. Por otra parte, el CNZ-90 obtuvo una producción de 38 μmol de H_2 , siendo inferior a la del ZIF-67. Por último, el compuesto CNZ-50 produjo 53 μmol de H_2 , superando al ZIF-67 y logrado más del doble de la producción del CN. La mayor producción de H_2 debido a que al introducir el ZIF-67 en g- C_3N_4 , estos dos semiconductores se unieron estrechamente y formaron una heterounión híbrida. Se cree que las interfaces de las heterouniones formadas facilitan la migración de los huecos fotogenerados al ZIF-67 dejando el electrón en la CB del CN debido a la irradiación de la luz UV, lo que frena la recombinación de cargas y acumula más electrones en la CB del CN [26], [35].

Trabajo a futuro

Se podría realizar la síntesis de más proporciones de CN y ZIF-67, hasta encontrar la relación másica ideal de estos materiales. También se podría evaluar la producción fotocatalítica de H₂ de los compósitos mediante luz visible, debido a que los espectros DRS-UV-Vis indican que son materiales activos en el espectro visible..

Conclusiones

La fabricación de los compósitos CNZ-x y evaluación en la producción fotocatalítica de H₂ determinó que el compósito CNZ-50 logró una mayor producción de H₂ con respecto a sus precursores y a CNZ-10 y CNZ-90, debido a que de los compósitos evaluados este tiene una relación ideal entre CN y ZIF-67 lo que le permite frenar la recombinación del par electrón-hueco, permitiéndole tener una mayor eficiencia fotocatalítica en la producción de H₂. Los resultados obtenidos sugieren que el compósito g-C₃N₄/ZIF-67 es fotocatalíticamente activo y podría emplearse en otras aplicaciones fotocatalíticas como la reducción de CO₂ o la eliminación de contaminantes orgánicos presentes en el agua.

Agradecimientos

A CONACYT por la beca número 824115. Al departamento de Ecomateriales y energía de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León por el espacio y equipos para realizar la presente investigación.

Referencias

- [1] D. A. Reddy, Y. Kim, M. Gopannagari, D. P. Kumar, and T. K. Kim, "Recent advances in metal-organic framework-based photocatalysts for hydrogen production," *Sustain. Energy Fuels*, vol. 5, no. 6, pp. 1597–1618, 2021, doi: 10.1039/c9se00749k.
- [2] R. Wang *et al.*, "Quasi-Polymeric Metal-Organic Framework UiO-66/g-C₃N₄ Heterojunctions for Enhanced Photocatalytic Hydrogen Evolution under Visible Light Irradiation," *Adv. Mater. Interfaces*, vol. 2, no. 10, pp. 1–5, 2015, doi: 10.1002/admi.201500037.
- [3] I. Staffell *et al.*, "The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system," *Energy Environ. Sci.*, vol. 12, no. 2, pp. 463–491, 2019, doi: 10.1039/c8ee01157e.
- [4] J. Albero, D. Mateo, and H. García, "Graphene-based materials as efficient photocatalysts for water splitting," *Molecules*, vol. 24, no. 5, p. 906, 2019, doi: 10.3390/molecules24050906.
- [5] Y.-P. Yuan, L.-W. Ruan, J. Barber, S. C. Joachim Loo, and C. Xue, "Hetero-nanostructured suspended photocatalysts for solar-to-fuel conversion," *Energy Environ. Sci.*, vol. 7, no. 12, pp. 3934–3951, 2014, doi: 10.1039/C4EE02914C.
- [6] K. Fan *et al.*, "Distinctive organized molecular assemble of MoS₂, MOF and Co₃O₄, for efficient dye-sensitized photocatalytic H₂ evolution," *Catal. Sci. Technol.*, vol. 8, no. 9, pp. 2352–2363, 2018, doi: 10.1039/c8cy00380g.
- [7] L. Deng, L. Jiang, Q. Tang, and H. Li, "g-C₃N₄ Photocatalysis Technology Application in Water Treatment," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 392, no. 3, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/392/3/032043.
- [8] J. Wen, J. Xie, X. Chen, and X. Li, "A review on g-C₃N₄ -based photocatalysts," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 391, no. August, pp. 72–123, 2017, doi: 10.1016/j.apsusc.2016.07.030.
- [9] X. Wang *et al.*, "A metal-free polymeric photocatalyst for hydrogen production from water under visible light," *Nat. Mater.*, vol. 8, no. 1, pp. 76–80, 2008, doi: 10.1038/nmat2317.
- [10] B. Zhu, L. Zhang, B. Cheng, and J. Yu, "First-principle calculation study of tri-s-triazine-based g-C₃N₄: A review," *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 224, pp. 983–999, 2018, doi: https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.11.025.
- [11] N. Tian *et al.*, "Precursor-reforming protocol to 3D mesoporous g-C₃N₄ established by ultrathin self-doped nanosheets for superior hydrogen evolution," *Nano Energy*, vol. 38, pp. 72–81, 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2017.05.038.
- [12] H. Hu *et al.*, "Enhanced reduction and oxidation capability over CeO₂/g-C₃N₄ hybrid through surface carboxylation: performance and mechanism," *Catal. Sci. Technol.*, 2020, doi: 10.1039/D0CY00395F.
- [13] C. V. Reddy *et al.*, "Metal-organic frameworks (MOFs)-based efficient heterogeneous photocatalysts: Synthesis, properties and its applications in photocatalytic hydrogen generation, CO₂ reduction and photodegradation of organic dyes," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 13, pp. 7656–7679, 2020, doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.02.144.
- [14] M. Z. Hussain, A. Schneemann, R. A. Fischer, Y. Zhu, and Y. Xia, "MOF Derived Porous ZnO/C Nanocomposites for Efficient Dye Photodegradation," *ACS Appl. Energy Mater.*, vol. 1, no. 9, pp. 4695–4707, 2018, doi: 10.1021/acsaem.8b00822.

- [15] N. Rungjaroentawon, S. Onsuratoom, and S. Chavadej, "Hydrogen production from water splitting under visible light irradiation using sensitized mesoporous-assembled TiO₂-SiO₂ mixed oxide photocatalysts," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 15, pp. 11061–11071, 2012, doi: 10.1016/j.ijhydene.2012.04.120.
- [16] D. B. Hernández-Uresti, D. Sanchez-Martinez, and L. M. Torres-Martinez, "Novel visible light-driven PbMoO₄/g-C₃N₄ hybrid composite with enhanced photocatalytic performance," *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, vol. 345, pp. 21–26, 2017, doi: 10.1016/j.jphotochem.2017.05.013.
- [17] P. Makuła, M. Pacia, and W. Macyk, "How To Correctly Determine the Band Gap Energy of Modified Semiconductor Photocatalysts Based on UV-Vis Spectra," *J. Phys. Chem. Lett.*, vol. 9, no. 23, pp. 6814–6817, 2018, doi: 10.1021/acs.jpcclett.8b02892.
- [18] J. Yang *et al.*, "Preparation of g-C₃N₄ with High Specific Surface Area and Photocatalytic Stability," *J. Electron. Mater.*, vol. 50, no. 3, pp. 1067–1074, 2021, doi: 10.1007/s11664-020-08654-1.
- [19] K. Yu, S. Yang, H. He, C. Sun, C. Gu, and Y. Ju, "Visible Light-Driven Photocatalytic Degradation of Rhodamine B over NaBiO₃: Pathways and Mechanism," pp. 10024–10032, 2009.
- [20] Y. Li, Z. Jin, and T. Zhao, "Performance of ZIF-67 – Derived fold polyhedrons for enhanced photocatalytic hydrogen evolution," *Chem. Eng. J.*, vol. 382, no. June, p. 123051, 2020, doi: 10.1016/j.cej.2019.123051.
- [21] T. M. O. Le *et al.*, "Enhancement of rhodamine B degradation by Ag nanoclusters-loaded g-C₃N₄ nanosheets," *Polymers (Basel)*, vol. 10, no. 6, pp. 1–10, 2018, doi: 10.3390/polym10060633.
- [22] F. Y. Su and W. De Zhang, "Carbonyl-grafted g-C₃N₄ porous nanosheets for efficient photocatalytic hydrogen evolution," *Chem. - An Asian J.*, vol. 12, no. 5, pp. 515–523, 2017, doi: 10.1002/asia.201601518.
- [23] J. Zhang, H. Hu, Z. Li, and X. W. Lou, "Double-Shelled Nanocages with Cobalt Hydroxide Inner Shell and Layered Double Hydroxides Outer Shell as High-Efficiency Polysulfide Mediator for Lithium-Sulfur Batteries," *Angew. Chemie - Int. Ed.*, vol. 55, no. 12, pp. 3982–3986, 2016, doi: 10.1002/anie.201511632.
- [24] S. H. Hsu *et al.*, "Platinum-free counter electrode comprised of metal-organic-framework (MOF)-derived cobalt sulfide nanoparticles for efficient dye-sensitized solar cells (DSSCs)," *Sci. Rep.*, vol. 4, no. November, 2014, doi: 10.1038/srep06983.
- [25] X. Sun, X. Lv, M. Sui, X. Weng, X. Li, and J. Wang, "Decorating MOF-derived nanoporous Co/C in chain-like polypyrrole (PPy) aerogel: A lightweight material with excellent electromagnetic absorption," *Materials (Basel)*, vol. 11, no. 5, 2018, doi: 10.3390/ma11050781.
- [26] K. C. Devarayapalli, S. V. P. Vattikuti, T. V. M. Srekanth, K. S. Yoo, P. C. Nagajyothei, and J. Shim, "Hydrogen production and photocatalytic activity of g-C₃N₄/Co-MOF (ZIF-67) nanocomposite under visible light irradiation," *Appl. Organomet. Chem.*, vol. 34, no. 3, pp. 1–9, 2020, doi: 10.1002/aoc.5376.
- [27] J. B. Condon, "Chapter 1 - An Overview of Physisorption," in *Surface Area and Porosity Determinations by Physisorption*, J. B. Condon, Ed. Amsterdam: Elsevier Science, 2006, pp. 1–27.
- [28] N. Askari, M. Beheshti, D. Mowla, and M. Farhadian, "Fabrication of CuWO₄/Bi₂S₃/ZIF67 MOF: A novel double Z-scheme ternary heterostructure for boosting visible-light photodegradation of antibiotics," *Chemosphere*, vol. 251, p. 126453, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126453>.
- [29] X. Zhang *et al.*, "g-C₃N₄/UiO-66 nanohybrids with enhanced photocatalytic activities for the oxidation of dye under visible light irradiation," *Mater. Res. Bull.*, vol. 99, no. January 2018, pp. 349–358, 2018, doi: 10.1016/j.materresbull.2017.11.028.
- [30] Z. D. Lei *et al.*, "The Influence of Carbon Nitride Nanosheets Doping on the Crystalline Formation of MIL-88B(Fe) and the Photocatalytic Activities," *Small*, vol. 14, no. 35, pp. 1–8, 2018, doi: 10.1002/smll.201802045.
- [31] H. Park *et al.*, "Zeolitic imidazolate framework-67 (ZIF-67) rhombic dodecahedrons as full-spectrum light harvesting photocatalyst for environmental remediation," *Solid State Sci.*, vol. 62, pp. 82–89, 2016, doi: 10.1016/j.solidstatesciences.2016.10.018.
- [32] M. E. Potter, C. P. Ross, D. Gianolio, R. Rios, and R. Raja, "Cobalt-containing zeolitic imidazole frameworks for C-H activation using visible-light redox photocatalysis," *Catal. Sci. Technol.*, vol. 10, no. 21, pp. 7262–7269, 2020, doi: 10.1039/d0cy01061h.
- [33] Z. Yu *et al.*, "Enhanced visible light photocatalytic activity of CdS through controllable self-assembly compositing with ZIF-67," *Mol. Catal.*, vol. 485, no. January, p. 110797, 2020, doi: 10.1016/j.mcat.2020.110797.
- [34] R. M. Abdelhameed and M. El-Shahat, "Fabrication of ZIF-67@MIL-125-NH₂ nanocomposite with enhanced visible light photoreduction activity," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 7, no. 3, p. 103194, 2019, doi: 10.1016/j.jece.2019.103194.
- [35] S. V. P. Vattikuti, P. A. K. Reddy, J. Shim, and C. Byon, "Visible-Light-Driven Photocatalytic Activity of SnO₂-ZnO Quantum Dots Anchored on g-C₃N₄ Nanosheets for Photocatalytic Pollutant Degradation and H₂ Production," *ACS Omega*, vol. 3, no. 7, pp. 7587–7602, 2018, doi: 10.1021/acsomega.8b00471.

Difusividad de humedad efectiva y energía de activación de la malanga (*Colocasia esculenta*)

G. Martínez Pereyra¹, J. S. López Lázaro¹, M. González-Solano¹, B. L. Pérez Escobar¹, Y. Córdova Bautista^{1*},

¹DAIA-UJAT, Avenida Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa, Centro, Tabasco

*cordovab@hotmail.com

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En este trabajo, se investigó el efecto de la temperatura y la velocidad del aire de secado sobre la difusividad de humedad efectiva y la energía de activación de la malanga (*Colocasia esculenta*). La malanga se cortó en rodajas de 0.5 cm de espesor, luego se secó 0.5 kg de rodajas a velocidades del aire de 0.2, 0.4 y 0.6 m s⁻¹ y temperaturas de 40, 50 y 60 °C. La masa se registró cada 10 minutos hasta que fue constante. La difusividad de humedad efectiva varió de 1.35 x 10⁻¹⁰ a 4.33 x 10⁻¹⁰ m² s⁻¹ al incrementar la temperatura y velocidad del aire. La energía de activación aumentó de 28.43 a 50.21 kJ mol⁻¹ al incrementar la velocidad del aire de secado.

Palabras clave: Difusividad de humedad, energía de activación, razón de humedad, Malanga.

Abstract

*In this work, the effect of temperature and drying air velocity on effective moisture diffusivity (D_{eff}) and activation energy (E_a) of Malanga (*Colocasia esculenta*) was investigated. Malanga was cut into slice of thickness 0.5 cm. Then 0.5 kg of malanga slices were dried at 0.2, 0.4 and 0.6 m s⁻¹ of air velocities and 40, 50 and 60 °C of temperatures. The mass was recorded every 10 min until it was constant. Effective diffusivity ranged from 1.35 x 10⁻¹⁰ a 4.33 x 10⁻¹⁰ m² s⁻¹ with temperature and air velocity increase. Activation energy varied from 28.43 a 50.21 kJ mol⁻¹ over drying air velocity increase.*

Key words: Effective diffusivity, activation energy, Moisture ratio, Malanga

Introducción

En todo el mundo, las personas tienen una dieta basada en los principales cereales como el trigo, arroz y maíz. La falta de diversidad dietética pinta un panorama del estado de la nutrición mundial, que es una amenaza para la seguridad nutricional [1]. La malanga (*Colocasia esculenta*) brinda oportunidades importantes para la diversidad dietética y la sostenibilidad del sistema de producción de alimentos en países en desarrollo y de bajos ingresos debido a su densidad de nutrientes y su capacidad para adaptarse a sistemas agrícolas de bajos insumos con mayor adaptabilidad [2]. La malanga es un tubérculo básico que por sus cormos y bulbos subterráneos, hojas, tallo [1,3] e inflorescencia se cultiva en una gran área geográfica del mundo [4]. La producción mundial se estima en aproximadamente 60% en África, 32 % en Asia y 8 % en las islas del pacífico [5]. En Asia, la malanga se estima como un alimento futuro en la categoría de cultivos de raíces y tubérculos para combatir la desnutrición crónica y el hambre [6]. Su importancia radica en sus altas cantidades de almidón considerado un material importante utilizado tanto en las industrias alimentarias como no alimentarias, además es fuente de fibra (0.6-0.8 %), magnesio, vitamina A, C, calcio y fósforo [7]. La malanga ofrece grandes valores nutricionales como carbohidratos, mucílagos y de 70 a 80 % de gránulos diminutos (1 a 5 μ) de almidón que son fácilmente digeridos [8]. También es una excelente

fuente de minerales (calcio, fósforo y hierro), rica en fibra, vitamina C y complejo vitamínico B como tiamina, riboflavina y niacina, que tienen un efecto positivo en la dieta humana [9].

El proceso de secado evita los desperdicios que se generan después de la cosecha, previene el crecimiento de microorganismos y adecua el producto para la elaboración de harinas y almidones [10]. Dos propiedades fundamentales en el proceso de secado de verduras son la difusividad de humedad efectiva y la energía de activación, siendo estas funciones de la temperatura, del contenido de humedad y el espesor del producto [11]. Por lo tanto, en el presente trabajo se determinará la difusividad de humedad efectiva (D_{eff}) y la energía de activación (E_a) de rodajas de malanga de 0.5 cm de espesor, en un secador utilizando aire caliente a temperaturas de 40, 50 y 60 °C velocidades de 0.2, 0.4 y 0.6 m s⁻¹ respectivamente.

Metodología

Materia prima

La malanga utilizada en el estudio pertenece a la variedad morada y se cosechó en el municipio de Cunduacán, Tabasco, México (18.04° N y 93. 18° O). Los cormos de tamaño uniforme, se lavaron, se pelaron y se cortaron en rodajas de 0.5 cm de espesor (Figura 1).



Figura 1. Rodajas de malanga húmeda

Equipo utilizado

El equipo utilizado fue un secador de laboratorio que consta de una cámara de acrílico de 0.08 m³, una bandeja con marco de madera con malla, un dispositivo para calentar el aire y un ventilador para regular la velocidad del aire dirigido de forma perpendicular hacia las rodajas (Figura 2).

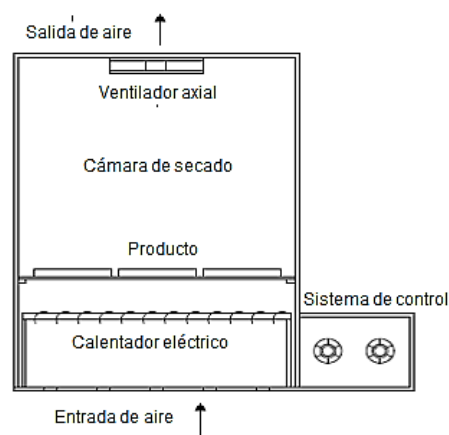


Figura 2. Esquema del secador utilizado

Procedimiento

La humedad inicial de la malanga fue de 68 % y se determinó con base en la norma NMX-F-083 [12] utilizando un horno de la marca Ecoshel modelo 9023A y una balanza analítica de la marca VELAB modelo VE-210. La humedad relativa y la temperatura ambiente se midieron con un higrómetro digital Extech modelo RH 101 y estuvieron en el rango 48 a 50 % y 24 a 26 °C respectivamente. La velocidad del aire y la temperatura en el secador se ajustaron a los valores de 0.2, 0.4 y 0.6 m s⁻¹ y 40, 50 y 60 °C respectivamente. Luego se colocó en la bandeja 0.5 kg de rodajas de malanga en un arreglo en capa delgada. Finalmente, la masa se registró cada diez minutos utilizando una balanza analítica marca Shimadzu modelo UW820H hasta que alcanzó un valor constante.

Razón de humedad

La razón de humedad (MR) de las rodajas de malanga, se calculó utilizando las siguientes ecuaciones [9]:

$$MR_{db} = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (1)$$

donde M_t es el contenido de humedad en el tiempo, M_o el contenido de humedad inicial y M_e es la humedad de equilibrio en kg agua / kg materia seca. Sin embargo, M_e se desprecia ya que es relativamente pequeño comparado con M_t y M_o .

Difusividad de humedad efectiva

La difusividad de humedad efectiva es función del contenido de humedad, del espesor, de la temperatura y la estructura del material. El secado ocurre predominantemente en el período de velocidad de secado decreciente y la transferencia de humedad hacia el exterior de las rodajas está controlada por la difusión interna [13]. En este periodo, el comportamiento de secado se describe mediante la Ecuación de difusión de Fick:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{eff} \left(\frac{\partial M}{\partial x} \right) \right) \quad (2)$$

donde D_{eff} es la difusividad de humedad efectiva (m² s⁻¹) y M es el contenido de humedad local (kg agua / kg materia seca). La solución de la ecuación (2) en forma lineal es encontrada por Crank [14] es:

$$\ln(MR_{db}) = \frac{\ln 8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \quad (3)$$

bajo las suposiciones siguientes:

1. El producto tiene forma de una placa infinita
2. La humedad inicial está distribuida uniformemente
3. La resistencia a la transferencia de masa en la superficie es despreciable
4. La transferencia de masa es simétrica con respecto al centro y es solo por difusión
5. La contracción es despreciable
6. El coeficiente de difusión y la temperatura son constantes
7. Periodo de secado largo

En la ecuación (3), L es el semiespesor de las rodajas (m), t es el tiempo de secado (s) y $m = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2}$ representa la pendiente de la recta.

Para determinar la difusividad de humedad efectiva se graficaron los datos de $\ln(MR)$ experimentales contra el tiempo de secado y se ajustaron por regresión lineal, la pendiente obtenida en el ajuste lineal se igualó a la ecuación (3) de donde se despejó D_{eff} .

Energía de activación

La energía de activación es la cantidad mínima de energía que debe suministrarse para realizar el proceso de secado. Según Arrhenius [15] la energía de activación (E_a) se relaciona con la difusividad de humedad efectiva (D_{eff}) y con la temperatura (T) mediante la siguiente expresión:

$$\ln D_{eff} = \ln D_o - \frac{E_a}{RT} \quad (4)$$

donde D_o es el factor pre-exponencial de la ecuación de Arrhenius ($m^2 s^{-1}$) y R es la constante de los gases ($8.314 J mol^{-1} K^{-1}$). La energía de activación se determinó graficando y ajustando por regresión lineal los datos de $\ln(D_{eff})$ contra el inverso de la temperatura de secado para cada una de las tres velocidades y la pendiente obtenida en el ajuste lineal se igualó a la pendiente de la ecuación (4) de donde se resolvió para E_a .

Resultados y discusión

Razón de humedad

En la Figura 3 se muestran las gráficas de la razón de humedad de los datos experimentales a las tres temperaturas y las tres velocidades.

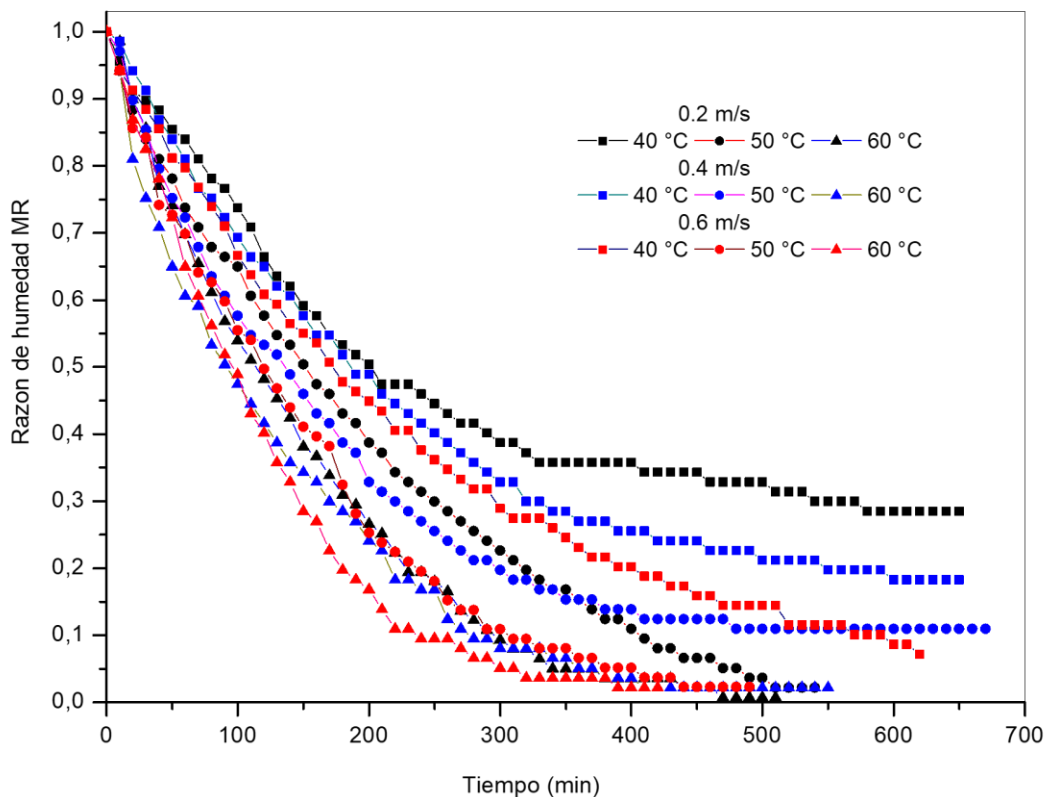


Figura 3. Curva de razón de humedad contra el tiempo de secado de las rodajas de malanga.

En la Figura 4 se observa una muestra de las rodajas de malanga deshidratada.



Figura 4. Rodajas de malanga seco

Difusividad de humedad efectiva

La Tabla 1 muestra los valores de difusividad de humedad efectiva obtenidos mediante el procedimiento descrito en la metodología, así como el coeficiente de determinación para cada condición de secado. La temperatura y la velocidad del aire, incrementaron significativamente la difusividad de humedad efectiva de las rodajas de malanga variando en un rango de 1.35×10^{-10} para 40°C y 0.2 ms^{-1} hasta $4.33 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para 60°C y 0.6 ms^{-1} . Se observa que, a una velocidad dada por ejemplo 0.2 ms^{-1} , si la temperatura aumenta la difusividad de humedad efectiva aumenta. Los resultados muestran que la temperatura de secado fue el factor que mayor efecto causó en la difusividad de humedad efectiva en comparación con la velocidad. Este resultado muestra que la velocidad y la temperatura del aire aceleraron el proceso de secado. Los valores de D_{eff} obtenidos en este estudio están dentro del rango general de 10^{-12} a $10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para el secado de productos alimenticios [15]. Los resultados de la difusividad de humedad efectiva obtenidos en este estudio son similares a los reportados por diferentes autores en productos agrícolas como por ejemplo duraznos [16], champiñón [17], nuez [18] y tomate [19].

Tabla 1. Valores de difusividad de humedad efectiva
Para cada condición de secado

Velocidad (m s^{-1})	Temp. $^\circ\text{C}$	Difusividad ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$) 10^{-10}	R^2
0.2	40	1.35	0.9989
	50	2.33	0.9837
	60	3.17	0.9823
0.4	40	1.53	0.9979
	50	2.83	0.9980
	60	3.53	0.9823
0.6	40	1.66	0.9920
	50	3.33	0.9896
	60	4.33	0.9908

Energía de activación

La energía de activación (E_a) se determinó tomando como dato el valor de la pendiente de la recta experimental ajustada de $\ln(D_{\text{eff}})$ contra T^{-1} para cada velocidad y la expresión de la pendiente de la ecuación (3). La Tabla 2 muestra los valores de la energía de activación obtenidas y sus coeficientes de determinación (R^2). Como se observa, la energía de activación aumenta en forma directamente proporcional a la velocidad del aire de secado, variando en un rango de 28.43 a $50.21 \text{ kJ mol}^{-1}$. Este resultado revela que la velocidad del aire es un factor que influye positivamente en la energía de

activación. Varios autores han reportado valores para diferentes productos agrícolas. Por ejemplo: 20.90 a 38.52 kJ mol⁻¹ en grano de destilería [20], 31.63 y 30.16 kJ mol⁻¹ en nuez [18], 25.40 y 29.46 kJ mol⁻¹ en arroz con cascara [21] y 22.987 kJ mol⁻¹ también en arroz con cascara [22]. Se puede ver que existe una amplia variación en los valores reportados debido a la compleja estructura de los materiales alimenticios.

Tabla 2. Energía de activación para las tres velocidades del aire de secado

Velocidad (m s ⁻¹)	0.2	0.4	0.6
Energía de activación (kJ mol ⁻¹)	28.43	32.36	50.21
coeficientes de determinación (R ²)	0.9971	0.9994	0.9823

Trabajo a futuro

Se espera estudiar las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la malanga para determinar el efecto que la temperatura y la velocidad del aire de secado causaron sobre las rodajas de malanga.

Conclusiones

En esta investigación se estudió el efecto de la temperatura y velocidad del aire de secado sobre la difusividad de humedad efectiva y la energía de activación. El estudio se realizó en rodajas de malanga de 0-5 cm de espesor, en un secador de laboratorio a temperaturas y velocidades del aire de secado de 40, 50 y 60 °C, y de 0.2, 0.4 y 0.6 m s⁻¹ respectivamente. Se observó que, al aumentar la temperatura y velocidad del aire de secado, aumentó la difusividad de humedad efectiva en el rango 1.35 x 10⁻¹⁰ a 4.33 x 10⁻¹⁰ m² s⁻¹. Esto debido a la disminución de la humedad relativa del aire de secado y a una mayor actividad de las moléculas. La energía de activación aumentó de 28.43 a 50.21 kJ mol⁻¹. Al aumentar la velocidad del aire de secado de 0.2 a 0.6 m s⁻¹. Los valores de difusividad de humedad efectiva y la energía de activación, estuvieron dentro del rango de valores para productos alimenticios. Los resultados muestran que la eliminación de la humedad de las rodajas de malanga, estuvo regida por el fenómeno de difusión interna. La temperatura de secado fue el factor que mayor efecto causó en la difusividad de humedad efectiva en comparación con la velocidad.

Referencias

- [1] P. -J. Matthews and M. -E. Ghanem, "Perception gaps that may explain the status of Taro (*Colocasia esculenta*) as an "orphan crop," *Plants People Planet*, vol. 3, pp. 99-112, 2020. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10155>
- [2] B. Kapoor, S. Singh, and P. Kumar, "Taro (*Colocasia esculenta*); Zero wastage orphan food crop for food and nutritional security," *South African Journal of Botany*, pp.1-13, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.08.014>
- [3] I. Ahmed, P.J.. Lockhart, E. Agoo, K. W.Naing, D. V. Nguyen, D. K. Medhi and P. J. Matthews, "Evolutionary origins of Taro (*Colocasia esculenta*) in Southeast Asia," *Ecol. Evol.*, vol.10 (23), pp. 13530-13543, 2020. <https://doi.org/10.1002/ece3.6958>
- [4] K. -E. Okechukwu, P. -I. Lawretta, A. -C. Eberchukwu, O. -K., Stanley, K. -C. Egbuta and N. -C. Joel, "Nutritive and anti-nutritive evaluation of cocoyam (*Colocasia esculenta* L.Schott) inflorescence," *Am. J. Food Sci. Technol.*, vol. 8 (2), pp. 42-48, 2020.
- [5] M. Arici, R. Metin Yildirim, G. Ozülkü, B. Yasar and O. Said Toker, "Physicochemical and nutritional properties of Taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flour as affected by drying

- temperature and air velocity," *Food Science and Technology*, vol. 74, pp. 434-440, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.006>
- [6] K. –H. Siddique, X. Li and K. Gruber, "Rediscovering Asia's forgotten crops to fight chronic and hidden hunger," *Nat. Plants*, vol. 7, pp. 116–122, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41477-021-00850-z>
- [7] D. Dendy, "Composite and alternative flours." *Cereals and Cereals Product Chemistry and Technology*, pp.263-275, 2001.
- [8] P. Kaushal, V. Kumar, and H. K. Sharma, "Comparative study of physicochemical, functional, antinutritional and pasting proper- ties of taro (*Colocasia esculenta*), rice (*Oryza sativa*) flour, pigeonpea (*Cajanus cajan*) flour and their blends," *LWT Food Sci. Technol*, vol. 48, pp. 59-68, 2012.
- [9] P. Kaushal and H. K. Sharma, "Convective dehydration kinetics of noodles prepared from taro (*Colocasia esculenta*), rice (*Oryza sativa*) and pigeonpea (*Cajanus cajan*) flours," *CIGR Journal*, vol. 15(4), pp. 2002-2012, 2013.
- [10] Aboubakar, Y. Njintang, J. Scher and C. Mbofung, "Physicochemical, thermal properties and microstructure of six varieties of Taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flours and starches," *Journal of Food Engineering*, vol. 86, pp. 294-305, 2008.
- [11] I. Doymaz, "Evaluation of some thin-layer drying models of persimmon slices (*Diospyros kaki* L.)," *Energy Convers Manage*, vol. 56, pp. 199-205, 2012.
- [12] Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, "Determinación de humedad en productos alimenticios," 1986.
- [13] Q. Shi, Y. Zheng and Y. Zhao, "Mathematical modeling on thin-layer heat pump drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices," *Energy Conversion and Management*, vol. 71, pp. 208-216, 2013.
- [14] J. Crank, *The Mathematics of diffusion*, 2nd ed., Ed. Oxford: Clarendon Press, Great Britain, 1975.
- [15] W. Silva, C. Silva, V. Farias and J. Gomes, "Diffusion models to describe the drying process of peeled bananas: optimization and simulation," *Dry. Technol*, vol. 30, pp. 164-174, 2010.
- [16] A. Zhu and X. Shen, "The model and mass transfer characteristics of convection drying of peach slices," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 72, pp. 345-351, 2014.
- [17] H. Mirzaei-Baktash, N. Hamdami, P. Torabi, S. Fallah-Joshaqani, M. Dalvi-Isfahan, " Impact of different pretreatments on drying kinetics and quality of button mushroom slices dried by hot-air or electrohydrodynamic dryin," *Food Science and Technology*, vol. 155, pp. 1-11, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112894>
- [18] C. Chen, C. Venkatasamy, W. Zhang, R. Khir, S. Upadhyaya and Z. Pan, "Effective moisture diffusivity and drying simulation of walnuts under hot air," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 150, pp. 119283, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.119283>
- [19] Akhijani, H. Samimi, A. Arabhosseini, and M. H. Kianmehr "Effective moisture diffusivity during hot air solar drying of tomato slices." *Research in Agricultural Engineering*, vol. 62, pp. 15-23, 2016. <https://doi.org/10.17221/33/2014-RAE>
- [20] R. P. Ramachandran, J. Paliwal, and S. Cenkowski, "Modeling of effective moisture diffusivity and activation energy of distillers' spent grain pellets with solubles during superheated steam drying," *Biomass and bioenergy*, vl. 116, pp. 39-48, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.06.004>
- [21] S. Sadaka, "Impact of grain layer thickness on rough rice drying kinetics parameters," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 35, 102026, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102026>
- [22] M. Golmohammadi, M. Foroughi-dahr, M. Rajabi Hamaneh, A.R. Shojamoradi and S.J. Hashemi, "Study on drying kinetics of paddy rice: Intermittent drying," *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, vol. 35, pp. 105-117. <file:///C:/Users/PH%20Villahermosa/Downloads/84320160313.pdf>

Síntesis química a baja temperatura de nanodiscos hexagonales de ZnO utilizados como detectores de H₂S

C. Martínez Pacheco¹, J. L. Cervantes López¹, A. S. López Rodríguez¹, J. C. Díaz Guillen² y L. L. Díaz Flores^{1*}

¹División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Km. 1, Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, C.P. 86690, Cunduacán, Tabasco, México.

²CONACYT-Corporación Mexicana de Investigación en Materiales S. A. de C. V., Avenida Ciencia y Tecnología No. 790, Fracc. Saltillo 400, C.P. 25290, Saltillo, Coahuila, México.

*laura.diaz@ujat.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

A través de la síntesis química a baja temperatura, se obtuvieron nanoestructuras de ZnO, usando el método hidrotermal (90 °C), a partir de una capa semilla sintetizada por el método sol-gel (60 °C) y depositada por la técnica de screen printing (temperatura ambiente) en un sustrato polimérico flexible. La caracterización estructural mostró una estructura policristalina de ZnO en su fase wurtzita hexagonal. Se observó una morfología bien definida de nanodiscos, cuyo diámetro aumenta al incrementar la concentración de la solución hidrotermal. La evaluación óptica de las películas reveló que tienen absorción en la región UV (365-375 nm) y en la región Visible (400-700 nm), lo cual es favorable para la aplicación de sensor de gas. Los nanodiscos de ZnO se probaron como sensores de gas H₂S, obteniendo una respuesta máxima de 14.43 % para 100 ppm, de 17.05 % para 200 ppm y 27.01 % para 300 ppm.

Palabras clave: Capa semilla, Cristalinidad, Estructura hexagonal, Temperatura de crecimiento.

Abstract

Through chemical synthesis at low temperature, ZnO nanostructures were obtained using the hydrothermal method (90 °C) from a seed layer synthesized by the sol-gel method (60 °C) and deposited by the technique of screen printing (room temperature) on a flexible polymeric substrate. The structural characterization showed a polycrystalline structure of ZnO in its hexagonal wurtzite phase. A well-defined morphology of nanodiscs was observed, and diameter increases with the increment of concentration of the hydrothermal solution. Optical evaluation of the films revealed that they have absorption in the UV region (365-375 nm) and in the Visible region (400-700 nm), which is helpful for gas sensor application. The ZnO nanodiscs were tested as H₂S gas sensors, obtaining a maximum response of 14.43 % for 100 ppm, 17.05 % for 200 ppm and 27.01 % for 300 ppm.

Key words: Seed layer, Crystallinity, Hexagonal structure, Growth temperature.

Introducción

El sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico (H₂S), es un gas incoloro, inflamable, liposoluble, muy tóxico y corrosivo. Se produce como subproducto en industrias tales como la refinación de petróleo, la acuicultura, manejo de residuos sólidos y en la producción de gas natural [1]. En general, la inhalación de una concentración de 50 ppm de H₂S afecta los sentidos de la vista y olfato. Si se presenta una concentración superior a 100 ppm, provoca la parálisis del nervio olfativo. Por lo tanto, el monitoreo y la medición de H₂S son necesarios para proteger la salud humana [2]. En ese sentido, durante los últimos 20 años se incrementó el estudio de sensores de gas a base de óxidos metálicos semiconductores [3]. Entre los que se encuentran el Óxido de Estaño (SnO₂), Óxido de Níquel (NiO), Óxido de Tungsteno (WO₃), Óxido de Cobre (CuO) y Óxido de Zinc (ZnO) [4]. Este último, el de ZnO, se utiliza en materiales avanzados debido a su bajo costo de producción, facilidad de operación y miniaturización. Así como por sus propiedades fundamentales de material semiconductor, ya que cuenta con una banda de energía de ~ 3.3 eV [5] y con una energía de enlace de excitones de 60 meV [6], que hace posible su uso en dispositivos electrónicos como sensores de gas, diodos emisores de luz UV, fotodetectores UV, recubrimientos antirreflejantes, láseres UV [7], por mencionar algunos. Se producen diferentes nanoestructuras

de ZnO (NE-ZnO) por diversos métodos de síntesis química, tales como reacción en estado sólido, sol-gel e hidrotermal [8]. Con los métodos antes mencionados, se obtienen morfologías variadas de ZnO, incluidas las de dimensión cero (0D), unidimensional (1D), bidimensional (2D) y tridimensional (3D). Entre las NE-ZnO 1D se encuentran las nanovarillas, nanoalambres, nanoagujas y nanocintas [9]. Las NE-ZnO 2D incluyen nanoláminas, nanoparedes, nanohojuelas, nanoplatos y nanodiscos, que tienen mayor superficie específica y más sitios activos para la adsorción del gas problema, los cuales en conjunto con la capacidad de transferencia de carga rápida, permite que estos materiales sean aplicados en sustratos en forma de película para ser utilizados como sensores de gas [10]. El principio de operación de un sensor con este tipo de NE-ZnO, se basa en el cambio de la señal del sensor, el cual está relacionado con un fenómeno de ionosorción, que consiste en la transferencia de portadores de carga libres desde las NE-ZnO a las especies adsorbidas en la superficie (o viceversa) [11]. Es por ello, que este trabajo de investigación presenta la caracterización estructural, morfológica, óptica y eléctrica de las capas activas fabricadas en forma de película delgada de ZnO sobre un sustrato polimérico flexible (ITO/PET), a partir de las técnicas de sol-gel, screen printing y crecimiento hidrotermal para su aplicación como sensor de gas.

Metodología

Reactivos utilizados en la síntesis de nanomateriales

Todos los reactivos utilizados en la síntesis de nanomateriales son de grado reactivo analítico (ACS). Acetato de zinc dihidratado ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$) (J. T. Baker), alcohol isopropílico (C_3H_8O) (J. T. Baker), monoetilenamina (C_2H_7NO) (Meyer), etilcelulosa ($C_{23}H_{24}N_6O_4$) (Sigma-Aldrich), etanol (C_2H_5OH) (Meyer), nitrato de zinc hexahidratado ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) (Sigma-Aldrich), hexametilentramina ($C_6H_{12}N_4$) (Sigma-Aldrich) y agua bidestilada (Wöhler).

Limpieza y tratamiento del sustrato polimérico flexible

Se utilizó un sustrato polimérico flexible de polietilen tereftalato recubierto de óxido de indio y estaño (ITO/PET), marca Sigma-Aldrich, que tiene un valor de resistividad de $8 \sim 10 \Omega/sq$ y un espesor del PET de 0.125 mm. Previo al uso, el sustrato ITO/PET, fue sometido a un proceso de limpieza en un baño ultrasónico, con una secuencia de lavado acetona, alcohol isopropílico y agua desionizada durante 10 minutos respectivamente. Una vez secos, los sustratos fueron irradiados con luz UV por 10 minutos. Este proceso proporciona una carga negativa en la superficie del ITO mediante la funcionalización oxigenada. Por último, se aplicó un secado a $100^\circ C$ durante 20 min para eliminar rastros de solventes y humedad, previo al depósito de la capa semilla.

Síntesis de la capa semilla de ZnO por Sol-Gel

La síntesis de la capa semilla de ZnO se llevó a cabo con el acetato de zinc dihidratado como precursor de Zn disuelto en alcohol isopropílico, el cual se agregó por goteo con agitación continua hasta la disolución completa. Como estabilizador de la reacción se adicionó la monoetilenamina, con una agitación de 15 min. Una vez todos los reactivos mezclados con una concentración de 15 mM, se incrementó la temperatura en la parrilla hasta que la solución alcanzó los $60^\circ C$ y el tiempo de síntesis fue de 120 min con agitación continua. La solución obtenida se dejó en reposo por 48 h antes de su uso.

Preparación de la pasta de ZnO y depósito por screen printing

La preparación de la pasta inició con la disolución de 0.17 g de etilcelulosa en 10 mL de etanol en un baño ultrasónico por 35 min. A esta primera mezcla se agregó la solución Sol-Gel de ZnO y permaneció 35 min en el sonicador. Por último, la suspensión fue reducida por evaporación del etanol, utilizando un evaporador rotatorio hasta que se observó la consistencia de una pasta. Para el depósito de la pasta formada, se utilizó un equipo de screen printing modelo AT-45FA marca ATMA con malla de 90 T. Se depositaron 3 capas sobre el sustrato de ITO/PET, y se secaron a $100^\circ C$ por 10 min en la primera y segunda capa, mientras que en la tercera capa el tiempo de secado fue de 30 min a $100^\circ C$.

Síntesis Hidrotermal para el crecimiento de NE-ZnO

La síntesis se realizó disolviendo el nitrato de zinc hexahidratado y la hexametilentramina en agua bidestilada durante 30 min con agitación, con una relación molar 1:1 entre ambos reactivos. Se trabajó con tres concentraciones de la solución hidrotermal, 10 mM (Z10-SP), 15 mM (Z15-SP) y 20 mM (Z20-SP). Las películas con la capa semilla de ZnO se colocaron dentro del recipiente de teflón del reactor hidrotermal con la cara

recubierta hacia abajo. El reactor se selló para la síntesis en un horno convencional a una temperatura de 90 °C durante 120 min. Al finalizar la síntesis, los sustratos con el material fueron enjuagados con abundante agua destilada y secados en el horno por 10 min a 100 °C. En la Figura 1, se presenta un esquema del proceso de síntesis de los nanomateriales.

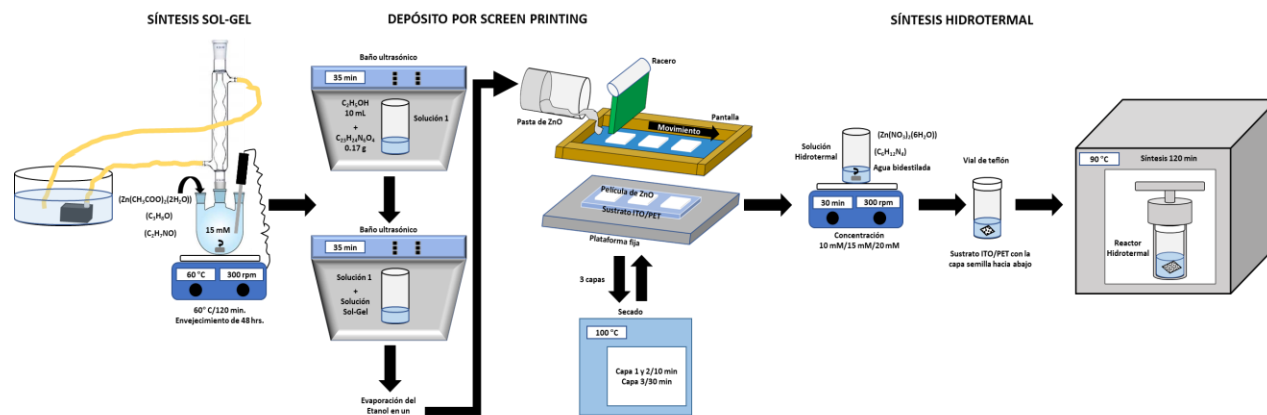


Figura 1. Esquema del proceso de síntesis y depósito de las nanoestructuras de ZnO.

Métodos de caracterización utilizados

Para la caracterización estructural de las NE-ZnO crecidas sobre el sustrato de ITO/PET, se utilizó un difractómetro con haz rasante marca Malvern Panalytical modelo Empyrean, con radiación Cu-K α ($\lambda = 1.54060$ Å), con un ángulo de incidencia de 0.3°, en un rango de 20° a 70° (2 θ) y con un tamaño de paso de 0.02°. La caracterización morfológica se realizó por microscopía electrónica de barrido (SEM), en un microscopio electrónico marca Tescan modelo Mira 3, que cuenta con un detector EDS marca Bruker modelo XFlash 6160. La medición de absorción óptica se realizó en un espectrofotómetro Ultravioleta-Visible (UV-Vis) modelo 1280 marca Shimadzu, en una longitud de onda de 300 a 800 nm en modo absorbancia.

Pruebas de detección de gases con las películas de ZnO

El sensor de gas se fabricó a partir de películas de nanodiscos de ZnO crecidos por el método hidrotermal sobre una capa semilla de ZnO depositada por screen printing. Estas películas se conectaron a dos electrodos de pasta conductiva de plata. Con los detectores de ZnO fabricados, se llevaron a cabo pruebas de detección de gas H₂S con una concentración de 100, 200 y 300 ppm, con una duración de 360 segundos cada prueba. El sistema utilizado para la detección de gases fue construido en el laboratorio, incluye el detector a base de nanodiscos de ZnO, una cámara de gases de 160 mL, una tarjeta programable de hardware libre y de código abierto Arduino®, para la adquisición de los datos de la resistencia eléctrica de las películas de ZnO en presencia de aire y en presencia del gas H₂S, se utilizó el software Arduino®. El sistema de prueba se presenta en la Figura 2.

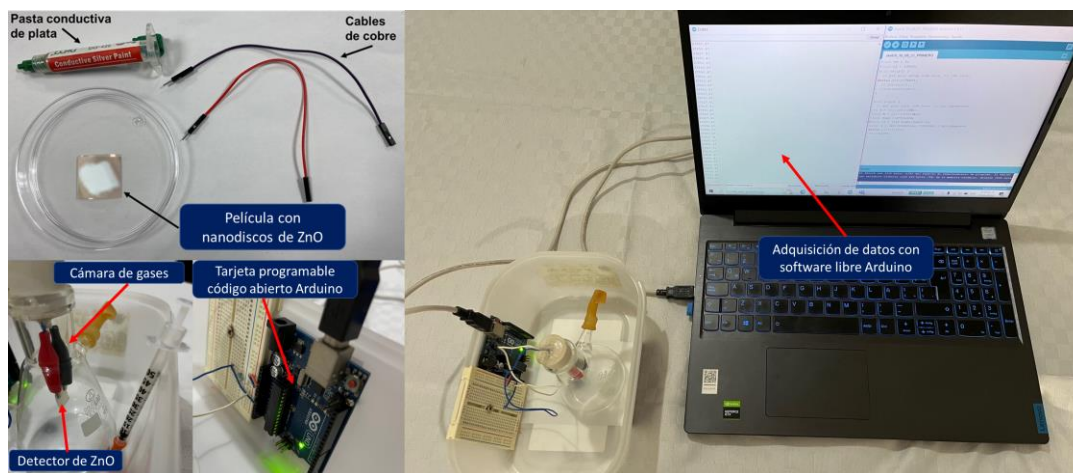


Figura 2. Sistema de prueba para la detección de gases con películas con nanodiscos de ZnO.

La respuesta del sensor de gas se calculó con la Ec. 1 [12]:

$$S = \frac{(R_{aire} - R_{gas})}{(R_{aire})} * 100 \% \quad (1)$$

Donde la R_{aire} es la resistencia en presencia de aire, y R_{gas} es la resistencia del sensor en la presencia del gas objetivo. El tiempo de respuesta está definido como el periodo en el cual la señal llega al 90% de la señal total cuando el gas está presente. Mientras que el tiempo de recuperación, es el periodo de tiempo en el cual la señal llega a un 10% de la señal cuando el gas es removido.

Resultados y discusión

Determinación de la calidad cristalina de las películas con NE-ZnO

Los difractogramas de las películas Z10-SP, Z15-SP, Z20-SP y las señales estándar, se presentan en la Figura 3. Las señales más notables son de tres picos intensos localizados en la posición $\approx 31.78^\circ$ (2θ), $\approx 34.42^\circ$ (2θ) y $\approx 36.26^\circ$ (2θ), que corresponden a los planos (100), (002) y (101) del ZnO respectivamente. Estos patrones de difracción fueron indexados a la estructura cristalina de ZnO en su fase wurtzita hexagonal, ya que los planos coinciden con los patrones estándar de la carta cristalográfica JCPDS 00-036-1451. El pico con mayor intensidad en todas las muestras, se encuentra posicionado en 36.26° (2θ) y corresponde al plano (101). Se observa un crecimiento preferencial a lo largo del plano (002) y (101). Otras de las señales observadas son las del plano (110) con una posición $\approx 56.62^\circ$ (2θ) y el plano (103) posicionado en $\approx 62.90^\circ$ (2θ). Estos picos bien definidos indican buena cristalinidad de las NE-ZnO sintetizadas. La intensidad de las señales en las tres muestras presentó este comportamiento Z15-SP > Z20-SP > Z10-SP. Los picos marcados con asterisco (*) corresponden al ITO [13].

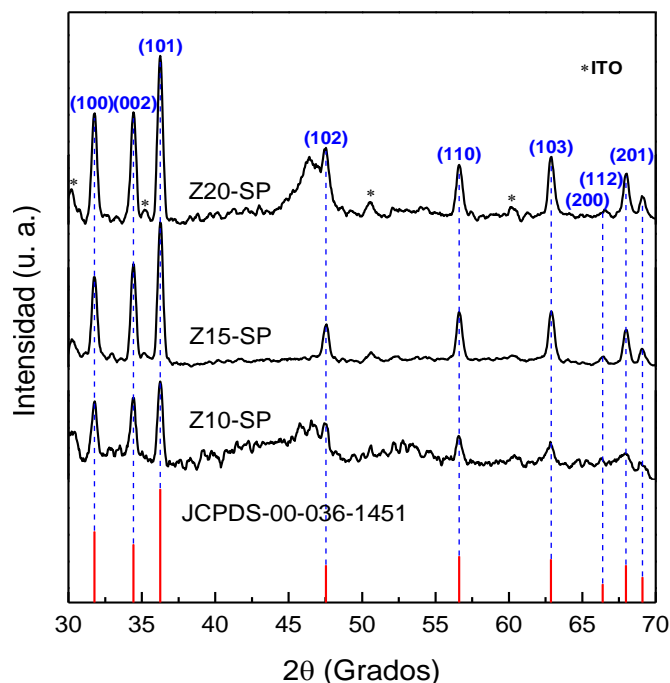


Figura 3. Patrones de difracción de las películas con NE-ZnO.

En la Tabla 1, se enlistan los parámetros de red a , c y la relación c/a y el tamaño promedio de cristal. Se utilizó la ecuación de la Ley de Bragg para calcular los parámetros de red, Ec. 2 y Ec. 3.

$$a = \sqrt{\frac{1}{3} \frac{\lambda}{\text{Sen}\theta}} \quad (2)$$

$$c = \frac{\lambda}{\text{Sen}\theta} \quad (3)$$

El tamaño promedio de cristal, se calculó con la ecuación de Debye – Scherrer, Ec. 4 [14].

$$D = \frac{\kappa\lambda}{\beta\cos\theta} \quad (4)$$

Los parámetros de red a y c , la relación c/a calculados, están dentro de los rangos reportados para la fase wurzita de ZnO en bulto, y coinciden con los valores presentados por Özgür *et al* [15], donde el parámetro de red a esta en el rango de 3.2487 a 3.2527 Å y el parámetro c , está en el rango de 5.2011 a 5.2069 Å. La relación c/a esta en un rango más amplio de 1.6008 a 1.6028. El cálculo del tamaño promedio de cristal incluyó los planos (100), (002), (101), (110) y (103) de todos los experimentos. El tamaño promedio de cristal está en un rango de 15.90 a 20.60 nm, el cual aumenta conforme la concentración de la solución hidrotermal se incrementa. Sin embargo, el tamaño de cristal de las películas con NE-ZnO sintetizadas en este trabajo presentaron un valor menor con respecto a algunos autores como Zargar *et al* [16], que obtuvieron tamaños promedio de cristal de 62.93, de películas de ZnO fabricadas por el método Sol-Gel-screen printing, para aplicaciones en pantallas electrónicas. Por otro lado, Chaudhary *et al* [17], encontró tamaños de cristal en el rango de 49 a 64, en películas de ZnO dopadas con gadolinio (Gd) fabricadas por un método no convencional Sol-Gel-screen printing, mejorando la conductividad de las películas.

Tabla 1. Parámetros de red y tamaños de cristal de las películas con NE-ZnO.

Experimento	a, Å	c, Å	c/a	Tamaño promedio de cristal, nm
Z10-SP	3.2487	5.2011	1.6010	15.90
Z15-SP	3.2527	5.2069	1.6008	20.45
Z20-SP	3.2487	5.2069	1.6028	20.60

Se evaluó la calidad de la orientación preferencial, con el coeficiente de textura relativo (TC_{hkl}), Ec. 5 [18], de las películas con NE-ZnO, el cual se presenta en la Tabla 2.

$$TC_{002} = \frac{\left(\frac{I_{002}}{I_{002}^0}\right)}{\left(\frac{I_{002}}{I_{002}^0} + \frac{I_{100}}{I_{100}^0} + \frac{I_{101}}{I_{101}^0} + \frac{I_{110}}{I_{110}^0} + \frac{I_{103}}{I_{103}^0}\right)} \quad (5)$$

Donde TC_{002} es el coeficiente de textura relativo del pico de difracción (002). I_{002} , I_{100} , I_{101} , I_{110} , e I_{103} , son las intensidades medidas de los picos de difracción. Mientras que I_{002}^0 , I_{100}^0 , I_{101}^0 , I_{110}^0 , e I_{103}^0 , corresponden a las intensidades estándar de la carta cristalográfica JCPDS 00-036-1451. Aunque el pico más intenso que se observó en los difractogramas corresponde al plano (110) para todas las muestras, el valor más alto de TC calculado corresponde al plano (002), lo que indica que las NE-ZnO prefieren crecer sobre el eje c , y este caso, el valor disminuye en todos los experimentos conforme aumenta la concentración hidrotermal. La película Z10-SP presentó el valor de TC más alto, 0.2677.

Tabla 2. Coeficiente de Textura de las películas con NE-ZnO.

Experimento	$TC_{(hkl)}$					
	Planos	(100)	(002)	(101)	(110)	(103)
Z10-SP		0.2000	0.2677	0.1430	0.1996	0.1897
Z15-SP		0.1757	0.2586	0.1614	0.1909	0.1224
Z20-SP		0.1880	0.2436	0.1625	0.1807	0.2252

Identificación de las nanoformas de las películas con NE-ZnO

En la Figura 4 a), se presenta la micrografía de la capa semilla (3 capas) de ZnO, depositada por la técnica de screen printing sobre el sustrato de ITO/PET, se observa un depósito uniforme sobre el sustrato. El mapeo

químico elemental de la capa semilla arrojó la presencia de Zn con un 1.08 % atómico, además de las señales de O, In, Sn y C. Esta micrografía revela que la capa semilla de ZnO depositada, no enmascara al sustrato ITO/PET, pero la detección del Zn, permite inferir que la capa semilla esta lista para el siguiente paso que es el crecimiento hidrotérmal, ya que requiere sitios de nucleación para el crecimiento de las NE-ZnO.

En las Figuras 4 b), 4 c) y 4 d) se presentan las micrografías obtenidas para todos los experimentos. Las estructuras están bien definidas con formas de nanodiscos hexagonales. Dichas nanoestructuras se encuentran apiladas formando capas y ordenadas aleatoriamente entre sí. El diámetro promedio de los nanodiscos para el experimento Z10-SP fue de 329 nm; el experimento Z15-SP presentó un valor de 472 nm; y, por último, el experimento Z20-SP tuvo un valor de 477 nm. Un incremento de la concentración en la solución hidrotérmal conduce a un aumento del diámetro de las nanoestructuras. En todas las micrografías se observa el crecimiento uniforme tal y como lo ha reportado Zargar *et al* [16], donde se muestra que la película de ZnO recubre una mayor área del sustrato de ITO/PET. El tamaño de las estructuras comprendido entre 400 y 500 nm, se siguen llamando nanoestructuras, considerando que Hoseinni *et al* [19], obtuvo nanoestructuras de ZnO con diámetros en un rango de 300 a 500 nm.

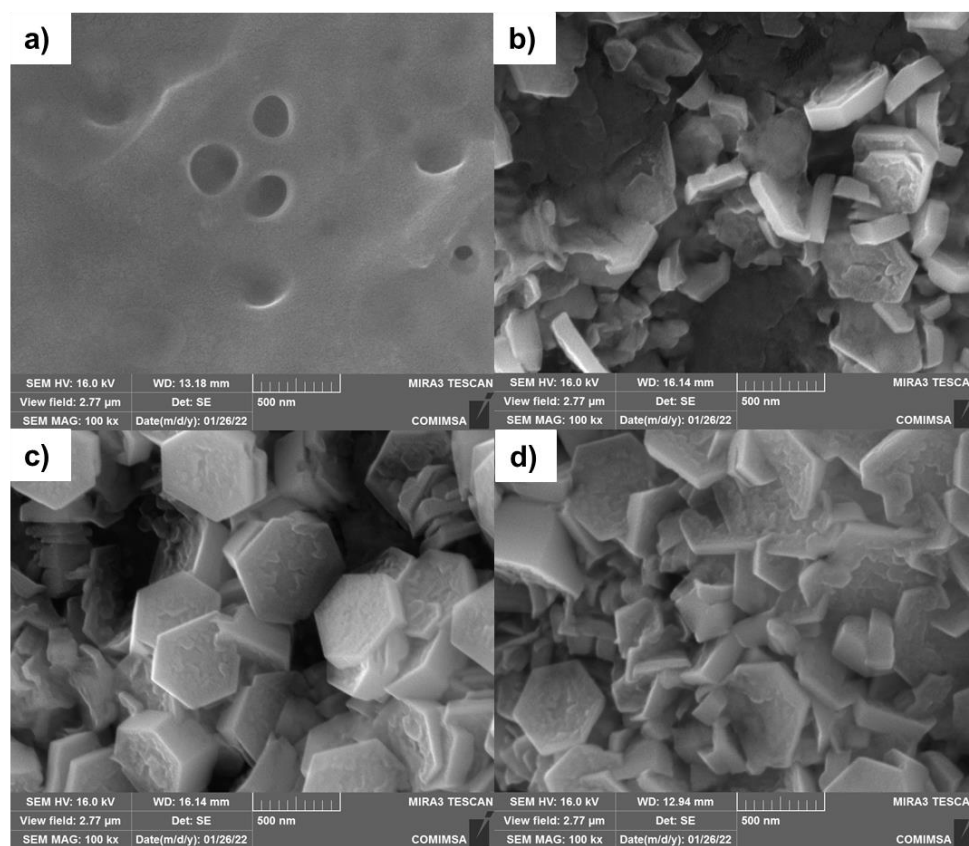


Figura 4. Micrografías de las películas con nanodiscos de ZnO. a) capa semilla; b) Z10-SP; c) Z15-SP; d) Z20-SP.

Evaluación óptica de las películas con ZnO

En la Figura 5, se presentan los espectros de absorción de las películas con NE-ZnO y del sustrato de ITO/PET. Se observa que las películas tienen una banda de absorción en la región UV entre ≈ 365 y 375 nm, atribuido a la banda de energía del ZnO en bulto. Las películas con NE-ZnO presentan un valor de absorción que va desde 1.2 hasta 3.2, el cual es mucho mayor que el valor del sustrato limpio, esto se debe al efecto de confinamiento óptico por las dimensiones de las nanoestructuras [20]. Los espectros de absorción revelan que las películas con capa semilla de ZnO depositadas por screen printing y con crecimiento hidrotérmal de nanodiscos, presentan absorción en la región visible. La absorción de energía en esta región, ayudará a la activación de las películas de ZnO mejorando la detección de gases a temperatura ambiente [21].

En el inserto de la Figura 4, se presenta el gráfico de cálculo de la banda de energía por el método de Tauc, con $(ahv)^2$ en función de la energía del fotón (hv). Los valores de la banda de energía oscilan entre 2.62 a 2.75 eV, lo

que indica un estrechamiento de la banda, como resultado del aumento de la concentración de la solución hidrotermal, lo que muestra un cambio hacia el rojo. Este comportamiento se encontró en los nanoconos de ZnO obtenidos por Fathima *et al* [7], sintetizados por el método hidrotermal con tres concentraciones, 25 mM, 50 mM y 75 mM, donde la banda de energía se reduce al incrementar la concentración, de 2.85 a 2.45 eV. Un efecto similar lo observó Soudi *et al* [22], al manejar diferentes espesores de película (42, 89 y 183 nm) obtenidas por pulverizado RF de ZnO, donde hay un estrechamiento del banda de energía de 3.20 a 3.16 eV.

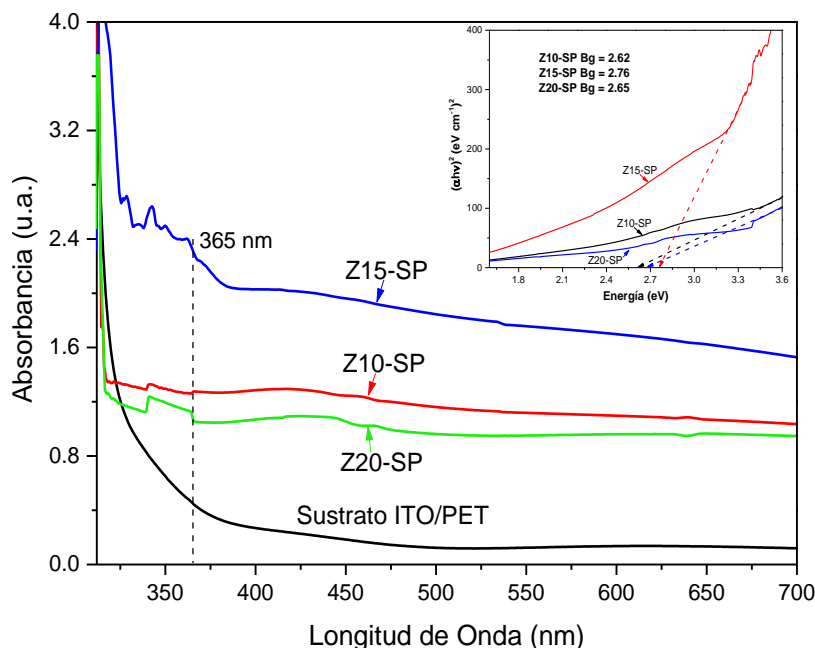


Figura 5. Espectros de absorbancia de las películas con ZnO.

Pruebas de detección de gas sulfhídrico (H_2S) de las películas con NEs-ZnO

Las condiciones utilizadas en las pruebas de detección, consideraron una temperatura de 50 °C y una humedad relativa de 65 %. Las pruebas de detección de gas H_2S se realizaron en 360 segundos cada una de ellas. En la Figura 6 a), 6 b) y 6 c), se presenta la variación de la respuesta (%) de las películas con NE-ZnO a la presencia de 100, 200 y 300 ppm de gas H_2S . La respuesta del sensor se calculó de acuerdo con la Ec. 1.

Para la concentración de 100 ppm de gas H_2S , la respuesta mínima fue 7.49 % (Z20-SP), mientras que la respuesta máxima fue 14.43 % (Z10-SP). Para las pruebas con 200 ppm de gas H_2S , se obtuvo una respuesta mínima de 9.59 % (Z20-SP) y la respuesta máxima fue 17.05 % (Z10-SP). En el caso de las pruebas con 300 ppm de gas H_2S , la respuesta está en un rango de 14.83 % (Z20-SP), mientras que la respuesta máxima fue 27.01 % (Z10-SP). El comportamiento de las películas con NE-ZnO fue que a menor diámetro tuvieron una mejor respuesta al gas H_2S , lo cual indica que entre más delgadas sean las nanoestructuras de ZnO, serán más sensibles ante la presencia del gas H_2S .

De los resultados arriba descritos, la película que tuvo un mejor desempeño fue la Z10-SP, cuyas NE-ZnO corresponden a nanodiscos con un diámetro promedio de 329 nm, valor menor que el diámetro presentado por las películas Z15-SP y Z20-SP. El tiempo de respuesta alcanzó un rango de 75 s a 179 s y un tiempo de recuperación en el rango de 21 s a 150 s. Los nanodiscos hexagonales de ZnO obtenidos en estos experimentos, son similares a las microestructuras hexaédricas de ZnO sintetizadas por Zhang *et al* [23], con un diámetro promedio entre 500 nm y 800 nm, alcanzando una respuesta de 18 %, en la detección de 100 ppm de gas H_2S a 20 °C. Por otro lado, Onkar *et al* [24], fabricaron películas gruesas de ZnO con la técnica de screen printing y realizaron la detección de 450 ppm de gas H_2S a 150 °C, obteniendo una respuesta (R_{aire}/R_{gas}) de 15. En la Figura 6 d), se muestra la selectividad del sensor con NE-ZnO expuesto a una variedad de especies de gases, como H_2S , etanol, LPG y acetona. Se probaron bajo la misma concentración de 300 ppm y misma temperatura de 50 °C. Es claro que el sensor con NE-ZnO responde mejor al H_2S que a otros gases, mostrando una buena selectividad para la detección de H_2S .

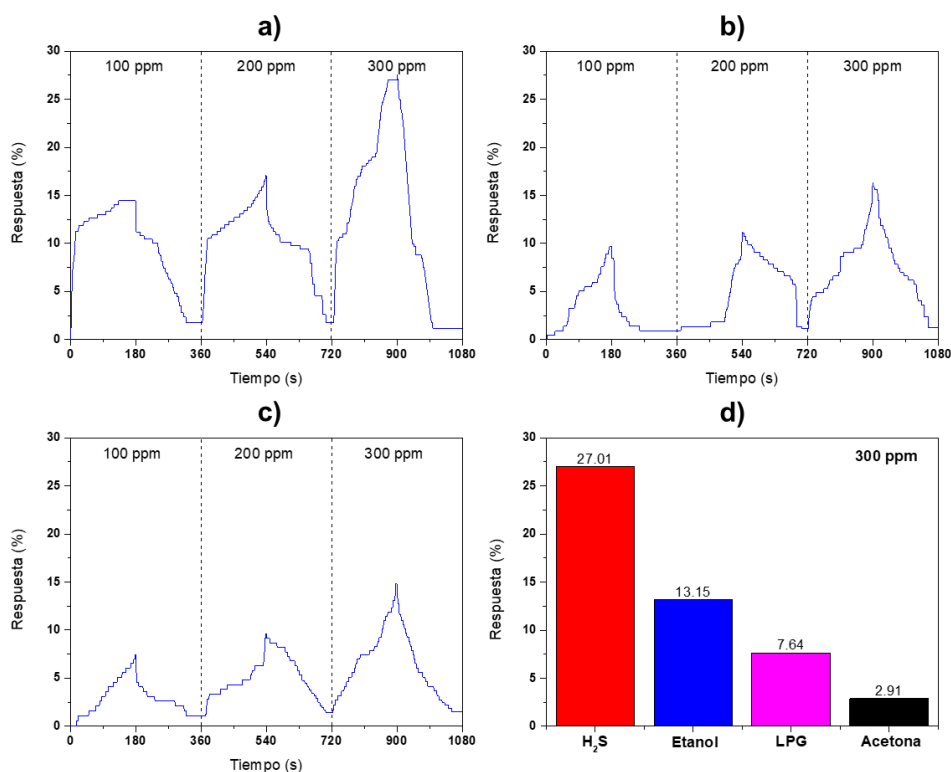


Figura 6. Respuesta de las películas con NE-ZnO en presencia de 100, 200 y 300 ppm de gas H₂S a una temperatura de 50 °C. a) Z10-SP; b) Z15-SP; c) Z20-SP; d) Z10-SP con 300 ppm de diferentes gases.

Trabajo a futuro

Para evaluar la sensibilidad de las películas con NE-ZnO, se recomienda probar con concentraciones menores de gas H₂S, como 1 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm y 50 ppm. Realizar pruebas de activación de las películas con luz UV, para incrementar la respuesta en la presencia de gas H₂S a temperatura ambiente. Medición del espesor de las películas por perfilometría y la rugosidad por AFM.

Conclusiones

La presente metodología, basada en la combinación de dos técnicas de síntesis, Sol-Gel e hidrotermal y la técnica de depósito de screen printing, confirma que es posible fabricar nanoestructuras hexagonales bien definidas y crecidas sobre el sustrato flexible de ITO/PET, modulando su crecimiento mediante el control de la concentración de precursores y tiempo de síntesis. Así mismo, se demostró que cuando se utiliza una capa semilla de ZnO, la cual provee los puntos de nucleación para el crecimiento de las nanoestructuras de ZnO, ésta contribuye a la alineación y tamaño de las mismas, logrando cubrir una mayor área del sustrato con una buena densidad de nanoestructuras. Los resultados obtenidos por DRX indican que las NE-ZnO están orientadas en el plano (002) y (100) principalmente. Con tamaños promedio de cristal de 15.90 a 20.60 nm, con morfologías de nanodiscos hexagonales, con un rango de tamaño de 329 a 477 nm y con una banda de energía que va desde 2.62 a 2.75 eV. Estas características dieron como resultado durante las pruebas de detección de gas H₂S a 50 °C, una respuesta mayor con la película Z10-SP, de 14.43 % para 100 ppm; 17.05 % para 200 ppm; y 27.01 % para 300 ppm. Así como, una mejor selectividad al H₂S con respecto a otros gases como etanol, LPG y acetona.

Agradecimientos

Al programa No. 4284 de Doctorado en Ciencias en Ingeniería y Laboratorio de Materiales Avanzados de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por el apoyo con los reactivos y equipo para la síntesis de nanomateriales. Al Laboratorio de Tecnologías de Unión de COMIMSA por el apoyo en la medición de la difracción de rayos X con haz rasante de las muestras y la obtención de micrografías por microscopía electrónica de barrido. Al proyecto CB 256221 y a CONACYT por la beca de Doctorado No. 2020-000026-02NACF-09744.

Referencias

- [1] P. Ding, D. Xu, N. Dong, Y. Chen, P. Xu, D. Zheng, and X. Li, "A high-sensitivity H₂S gas sensor based on optimized ZnO-ZnS nano-heterojunction sensing material," *Chinese Chem. Lett.*, vol. 31, no. 8, pp. 2050–2054, 2020.
- [2] M. Sun, H. Yu, X. Dong, L. Xia, and Y. Yang, "Sedum lineare flower-like ordered mesoporous In₂O₃/ZnO gas sensing materials with high sensitive response to H₂S at room temperature prepared by self-assembled of 2D nanosheets," *J. Alloys Compd.*, vol. 844, p. 156170, 2020.
- [3] V. S. Bhati, M. Hojamberdiev, and M. Kumar, "Enhanced sensing performance of ZnO nanostructures-based gas sensors: A review," *Energy Reports*, vol. 6., pp. 46–62, 2020.
- [4] V. T. Duoc, D. T. Thanh Le, N. Duc Hoa, N. Van Duy, C. M. Hung, H. Nguyen, and N. Van Hieu, "New Design of ZnO Nanorod-and Nanowire-Based NO₂ Room-Temperature Sensors Prepared by Hydrothermal Method," *J. Nanomater.*, vol. 2019, no. 6821937, pp. 1–9, 2019.
- [5] J. Wang, R. Chen, L. Xiang, and S. Komarneni, "Synthesis, properties and applications of ZnO nanomaterials with oxygen vacancies: A review," *Ceramics International*, vol. 44, no. 7., pp. 7357–7377, 2018.
- [6] U. G. Deekshitha, K. Upadhya, A. Antony, A. Ani, M. Nowak, I. V. Kityk, J. Jedryka, P. Poornesh, K. B. Manjunatha, and S. D. Kulkarni, "Effect of Na doping on photoluminescence and laser stimulated nonlinear optical features of ZnO nanostructures," *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 101, pp. 139–148, 2019.
- [7] N. Fathima, N. Pradeep, V. Uma, and J. Balakrishnan, "Growth and characterization of ZnO nanocones on flexible substrate by hydrothermal method," in *Materials Today: Proceedings*, vol. 9, pp. 247–255, 2019.
- [8] K. Harun, F. Hussain, A. Purwanto, B. Sahraoui, A. Zawadzka, and A. A. Mohamad, "Sol-Gel synthesized ZnO for optoelectronics applications: a characterization review," *Mater. Res. Express*, vol. 4, no. 12, p. 122001, 2017.
- [9] S. Kaya, O. Ozturk, and L. Arda, "Roughness and bearing analysis of ZnO nanorods," *Ceram. Int.*, vol. 46, no. 10, pp. 15183–15196, 2020.
- [10] S. G. Leonardi, "Two-dimensional zinc oxide nanostructures for gas sensor applications," *Chemosensors*, vol. 5, no. 17., p. 1–28, 2017.
- [11] A. Mirzaei, J. H. Lee, S. M. Majhi, M. Weber, M. Bechelany, H. W. Kim, and S. S. Kim, "Resistive gas sensors based on metal-oxide nanowires," *Journal of Applied Physics*, vol. 126, no. 24. p. 241102, 2019.
- [12] K. C. Hsu, T. H. Fang, Y. J. Hsiao, and Z. J. Li, "Rapid detection of low concentrations of H₂S using CuO-doped ZnO nanofibers," *J. Alloys Compd.*, vol. 852, p. 157014, 2021.
- [13] N. Siriphongsapak, S. Denchitharoen, and P. Limsuwan, "Hydrothermal growth of ZnO nanostructures using sodium hydroxide as a source of hydroxide ion," in *Materials Today: Proceedings*, vol. 23, pp. 712–719, 2020.
- [14] A. F. Abdulrahman, S. M. Ahmed, S. M. Hamad, and A. A. Barzinjy, "Effect of Growth Temperature on Morphological, Structural, and Optical Properties of ZnO Nanorods Using Modified Chemical Bath Deposition Method," *J. Electron. Mater.*, vol. 50, no. 3, pp. 1482–1495, 2021.
- [15] Ü. Özgür, V. Avrutin, and H. Morkoç, "Zinc Oxide Materials and Devices Grown by Molecular Beam Epitaxy," in *Molecular Beam Epitaxy*, Elsevier, pp. 343–375, 2018.
- [16] R. A. Zargar, M. Arora, T. Alshahrani, and M. Shkir, "Screen printed novel ZnO/MWCNTs nanocomposite thick films," *Ceram. Int.*, vol. 47, no. 5, pp. 6084–6093, 2021.
- [17] P. Chaudhary and V. Kumar, "Investigation on structural, morphological, optical and electrical features of nanocrystalline Zn_{1-x}GdxO films synthesized by unconventional sol-gel screen-printing process," *Appl. Phys. A*, vol. 126, no. 9, p. 719, 2020.

- [18] J. L. Cervantes-López, R. Rangel, V. J. Cedeño, J. J. Alvarado-Gil, P. Quintana, O. Contreras, and J. Espino, "Controlling the aspect ratio of Zn(1-x)Eu(x)O nanostructures obtained by a statistical experimental design involving atomic layer deposition and microwave-assisted hydrothermal methods," *Appl. Phys. A*, vol. 125, no. 1, p. 41, 2019.
- [19] Z. S. Hosseini, A. I. Zad, and A. Mortezaali, "Room temperature H₂S gas sensor based on rather aligned ZnO nanorods with flower-like structures," *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 207, pp. 865–871, 2015.
- [20] I. Musa, N. Qamhieh, and S. T. Mahmoud, "Synthesis and length dependent photoluminescence property of zinc oxide nanorods," *Results Phys.*, vol. 7, pp. 3552–3556, 2017.
- [21] L. Zhu and W. Zeng, "Room-temperature gas sensing of ZnO-based gas sensor: A review," *Sensors and Actuators, A: Physical*, vol. 267, pp. 242–261, 2017.
- [22] J. Soudi, K. M. Sandeep, B. K. Sarojini, P. S. Patil, S. R. Maidur, and K. M. Balakrishna, "Thermo-optic effects mediated self focusing mechanism and optical power limiting studies of ZnO thin films deposited on ITO coated PET substrates by RF magnetron sputtering under continuous wave laser regime," *Optik*, vol. 225, p. 165835, 2021,.
- [23] D. Zhang, X. Fan, X. Hao, and G. Dong, "Facile Fabrication of Polyaniline Nanocapsule Modified Zinc Oxide Hexagonal Microdiscs for H₂S Gas Sensing Applications," *Ind. & Eng. Chem. Res.*, vol. 58, no. 5, pp. 1906–1913, 2019.
- [24] S. G. Onkar, S. B. Nagdeote, A. S. Wadatkar, and P. B. Kharat, "Gas sensing behavior of ZnO thick film sensor towards H₂S, NH₃, LPG and CO₂," in *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1644, no. 1, p. 12060, 2020.

Estudio comparativo del perfil microbiológico del queso tipo panela con *Lactobacillus reuteri* libre o encapsulado.

Martínez-Morán Miriam de Lourdes¹, Paz-Gamboa Ernestina^{1*}, Chávez-Montaño Aurora¹, Pérez-Silva Araceli²,
Martínez-Sánchez Cecilia Eugenia².

Departamento de Ingeniería Bioquímica, TecNM/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Av. Dr. Víctor Bravo Ahuja
No. 561, Col. Predio el Paraíso, C.P. 68350, San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México.

*ernestina_paz@hotmail.com

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Se evaluó el perfil microbiológico de quesos tipo panela adicionados con *Lactobacillus reuteri* en forma libre o encapsulada, así como de quesos de dos diferentes marcas comerciales y uno elaborado artesanalmente. Los quesos con *L. reuteri* se encontraron dentro de la concentración viable para considerarse probiótico (6 Log UFC/g). De acuerdo al perfil microbiológico, quesos con el sistema libre se mantuvieron dentro de los límites máximos permisibles por la NOM-243 para Mesofílicos aerobios, *S. aureus*, mohos y levaduras, en cuanto a Coliformes totales superaron el rango de ≤ 100 UFC/g establecido por la norma a los 21 días. Con el sistema encapsulado se obtuvieron recuentos superiores a los límites máximos permisibles a partir de 7 días para Coliformes totales y a partir de 14 días para *S. aureus* y levaduras. Los quesos de dos marcas comerciales y el elaborado artesanalmente mostraron crecimiento bacteriano fuera de los rangos establecidos por la NOM-243-SSA1-2010.

Palabras clave: *Lactobacillus reuteri*, queso panela, viabilidad, encapsulado.

Abstract

The microbiological profile of panela-type cheeses added with *Lactobacillus reuteri* in free or encapsulated form, as well as of cheeses from two different commercial brands and one made by hand, was evaluated. The cheeses with *L. reuteri* were found within the viable concentration to be considered probiotic (6 Log CFU/g). According to the microbiological profile, cheeses with the free system remained within the maximum permissible limits by NOM-243 for aerobic mesophilic, *S. aureus*, molds and yeasts, in terms of total coliforms they exceeded the range of ≤ 100 CFU/g established by the norm at 21 days. With the encapsulated system, counts higher than the maximum permissible limits were obtained from 7 days for total coliforms and from 14 days for *S. aureus* and yeasts. The cheeses of two commercial brands and the artisanal one showed bacterial growth outside the ranges established by NOM-243-SSA1-2010.

Key words: *Lactobacillus reuteri*, panela cheese, viability, encapsulation.

Introducción

En México el consumo de quesos se da en todos los niveles socioeconómicos, en cada rincón del país el queso es un alimento que compartimos en nuestras mesas. Evidentemente, el poder adquisitivo es determinante en las decisiones de compra, por lo que hay una gran variación en el tipo de quesos, marcas y presentaciones según el gusto del consumidor. El queso panela es uno de los quesos que más se consumen en nuestro país. Por su proceso de fabricación, es de esperar que cualquier queso panela sea un producto con alto contenido de agua, por lo que se define como un alimento altamente perecedero, lo que conlleva al crecimiento de microorganismos que afectan la vida de anaquel y puede ser dañino para quien lo consume. La evaluación microbiológica nos permite conocer las condiciones higiénicas generales de los alimentos para prevenir enfermedades o intoxicaciones, la NOM-243-SSA1-2010 nos brinda las especificaciones de los límites permisibles de bacterias presentes en quesos frescos para su análisis. Por lo que el presente trabajo es evaluar al *Lactobacillus reuteri* de

forma libre y encapsulada como agente antimicrobiano y probiótico en la adición al queso panela. La mayoría de los alimentos que contienen probióticos no tienen la concentración viable al ser consumidos, debido a muchos factores que pueden presentarse desde su elaboración hasta su consumo, como el pH y temperatura, los cuales aceleran la mortalidad de estos microorganismos. Uno de los métodos que existen para mejorar la supervivencia de los probióticos en los alimentos es la encapsulación, lo que consiste en encapsular sólidos, líquidos o gases en materiales como polímeros. Dichos sistemas de encapsulación hacen más resistentes a los probióticos a cambios de temperatura y pH, lo que conlleva a que el microorganismo se mantenga con vida dentro del alimento y estos se liberen dentro del organismo.

Metodología

Materiales

Como bacteria probiótica se utilizó *Lactobacillus reuteri* NRRL-14171 obtenida de la Unidad de Investigación y de Desarrollo de Alimentos del Instituto Tecnológico de Veracruz. La leche de vaca se obtuvo de un solo proveedor en el rancho Santa María de Guadalupe ubicado en Palmilla, Tuxtepec, Oaxaca. La leche se recolectó en bidones de plástico con capacidad de 15 L y se transportó al Laboratorio de Desarrollo de Nuevos Productos del Instituto Tecnológico de Tuxtepec.

Obtención del paquete celular de *Lactobacillus reuteri*

Para la activación del *L. reuteri* se prepararon tubos con 9 mL de agar MRS, se procedió a inocular los tubos con agar en posición inclinada, utilizando dos asadas de la cepa de *L. reuteri*, las asadas se distribuyeron por estría, los tubos obtenidos se incubaron a 37°C en anaerobiosis por un tiempo de 18 h. Una vez obtenidos los tubos, se adicionó 1 mL de agua destilada estéril, este mililitro se transfirió a un segundo tubo que contenía 9 mL de caldo MRS, se incubó por 21 h/37°C. Del tubo anterior se tomó 1 mL y se adicionó a otro tubo con 9 mL de caldo MRS y se incubó por 10 h/37°C, nuevamente se tomó un mililitro y se inoculó a otro tubo con 9 mL de caldo MRS y se incubó por 8 h/37°C. De los últimos tubos obtenidos se utilizó 1 mL por cada 100 mL de caldo MRS en matraces Erlenmeyer, se incubaron a 37°C en anaerobiosis por 14 h. Para la obtención del paquete celular, se centrifugó el medio obtenido a 3000 rpm/20 min a una temperatura de 4°C usando una centrífuga refrigerada marca Rotina® 310. El paquete celular obtenido fue lavado con una solución de peptona de caseína al 1% con un pH 7 y se mantuvo en refrigeración para su utilización.

Obtención de los encapsulados de *Lactobacillus reuteri*

La técnica de encapsulación se realizó según Rodríguez-Pérez et al., (2016), utilizando alginato de sodio (AlgNa) al 2% como sustancia encapsulante, el cual se preparó en combinación con goma xantana al 0.015%. Se utilizó CaCl₂ 0.2 M esterilizado como agente entrecruzante para la obtención de las capsulas. En vasos de precipitado se adicionó por separado 0.5, 1.0, 1.5% del paquete celular (*L. reuteri*) con una concentración de 10¹⁰ UFC/mL. Los cuales fueron mezclados con 50 mL de la solución de AlgNa-goma xantana. Enseguida fue vertido a un recipiente al cual se colocó una punta calibre 21Gx32 mm para goteo, dicho recipiente se colocó en un soporte universal, en el cual se obtuvieron los encapsulados por extrusión. Sobre un termoagitador se colocó un matraz erlenmeyer con 150 mL de CaCl₂ con agitación constante a 420 rpm y con una distancia de 15 cm entre la punta de goteo y el CaCl₂. Se mantuvo en agitación por 30 min. Posteriormente los encapsulados se almacenaron en una bolsa con zipper a 4 °C hasta su utilización.

Elaboración de los quesos tipo panela.

La leche bronca se ajustó a 2% de grasa y se sometió a un proceso de pasteurización, a 63°C por 30 minutos. Los quesos tipo panela fueron elaborados de acuerdo a la metodología de Chávez y Paz, (2022); la leche previamente pasteurizada se dejó enfriar a 42 °C, se le adicionó CaCl₂ (0.2 g/L de leche) y se enfrió a 37 °C, se obtuvieron 7 lotes de 2 L de leche en tinas de acero inoxidable. Se adicionó el cuajo marca CUAMEX (0.15 mL/L) y se mantuvo en reposo por 30 min. Cuando la cuajada se encontró firme, se cortó de manera horizontal y verticalmente para obtener cubos de aproximadamente 1 cm³, la cuajada se agitó por 5 min, posteriormente se calentó a 39 °C incrementando 1 °C por cada minuto, se agitó lentamente y se desueró ¾ partes del suero obtenido, una vez desuerada la cuajada, se adicionó el NaCl (7 g de sal/L) y cada lote fue adicionado con

Lactobacillus reuteri libre en concentraciones de 0.5, 1.0 y 1.5 % y con *Lactobacillus reuteri* encapsulado de 5, 10 y 15 g de encapsulados por litro que representan el porcentaje de concentración anterior, se mezcló perfectamente y se sometió a un moldeado y refrigerado durante 2 h, posterior a este tiempo se volteó la cuajada y se refrigeró ($4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante 24 h. Finalmente se procedió al desmoldado para sus posteriores análisis.

Evaluación de viabilidad de *Lactobacillus reuteri* en los quesos

La cuantificación de *L. reuteri* se realizó por duplicado de acuerdo al método de vertido en placa en agar MRS, para el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC/g) en cajas Petri. La viabilidad se evaluó durante los días 1, 7, 14 y 21 de almacenamiento a temperatura de refrigeración. Se utilizaron 10 g de queso que se homogenizó con 90 mL de agua peptonada estéril (1% de peptona y 0.5% de NaCl, pH 7). Se tomó 1 mL de las diluciones 10^6 , 10^7 , 10^8 y se vertió en cajas Petri para después verter aproximadamente 20 mL de agar MRS. Una vez solidificado el medio, las cajas Petri fueron incubadas en anaerobiosis durante 48 h a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Caracterización microbiológica de los quesos obtenidos

Los análisis microbiológicos se le realizaron a todos los quesos que fueron obtenidos, de acuerdo con las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010 por conteo de unidades formadoras de colonias (UFC/g) en placas. Las determinaciones que se realizaron fueron Mesofílicos aerobios, Coliformes totales, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, Mohos y levaduras, donde se tomó en consideración los límites permisibles según la NOM. La preparación de las muestras y diluciones se realizaron de acuerdo con la NOM-110-SSA1-1994, se tomó 25 g de muestra y se homogeneizó en 225 mL de agua peptonada. Siguiendo la NOM-092-SSA1-1994 se realizó el conteo de Mesofílicos aerobios utilizando el Agar para Métodos Estándar (PCA). De la dilución anterior se depositó 0.1 mL sobre la superficie de las placas de agar PCA y se distribuyó con varillas de vidrio estériles en ángulo recto. Posteriormente se invirtieron las cajas y se incubaron por 48 h a $35 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$; las colonias de bacterias aerobias se presenta de un color blanquecino, de forma puntiforme y extendidas. Para el recuento de Coliformes totales, se utilizó el medio de cultivo Agar Bilis y Rojo Violeta (VRBA) de acuerdo a la NOM-113-SSA1-1994, inoculando de igual forma 0.1 mL sobre la superficie de las cajas e incubándolas de forma invertida a una temperatura de $35 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 h; las colonias se presentan de color rojo claro o rosa, su morfología es semejante a lentes biconvexas con un diámetro de 0.5 a 2 mm. Para la cuantificación de *Staphylococcus aureus* se empleó la NOM-115-SSA1-1994, utilizando el medio Agar Sal y Manitol, inoculando 0.1 mL sobre la superficie de las placas; se invirtieron las cajas y se incubaron de 45 a 48 h a $35 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el conteo de colonias, las cuales se presentan en color amarillo, circulares y de 1 a 2 mm de diámetro. Bajo la NOM-114-SSA1-1994 se determinó la presencia de *Salmonella* spp, utilizando caldo lactosado en el pre-enriquecimiento incubándose por 24 h a $35 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, después se pasó 1 mL de la mezcla anterior a 10 mL de caldo tetracionato para el enriquecimiento y se incubó de 18 a 24 h a $35 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, enseguida se transfirió a placas con agar sulfito de bismuto para el aislamiento incubándose por 24 h a $35 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, finalmente para la determinación bioquímica, se seleccionaron las colonias típicas que se encontraban aisladas para inocular por punción en el fondo en tubos con agar triple hierro y azúcar, los cuales fueron incubados a $35 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 h; reportando presencia o ausencia de *Salmonella* spp en 25 g de muestra. La determinación de Mohos y Levaduras se realizó de acuerdo a la NOM-111-SSA1-1994, utilizando como medio de cultivo el Agar Dextrosa y Papa, las placas se incubaron a $25 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 5 días.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos por duplicado se analizaron mediante un Análisis de Varianza (ANDEVA) en Minitab versión 17 y una prueba de comparación de medias de Tukey con $\alpha=0.05$.

Resultados y discusión

Caracterización fisicoquímica de la leche bronca

La leche bronca que se utilizó en este proyecto fue evaluada respecto a sus propiedades fisicoquímicas obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 1, encontrándose todas las determinaciones dentro de los parámetros establecidos.

Tabla 1. Análisis fisicoquímico de la leche bronca.

Análisis	Leche bronca
Acidez (g/L de ácido láctico)	1.38±0.05
pH	6.42±0.01
Densidad (g/mL)	1.03±0.002
Alcohol	Negativo
Grasa (g/L)	40±0.1
Proteína (g/L)	4.1±0.13

Se procedió a la elaboración de los quesos panela y a sus respectivos análisis de viabilidad del *Lactobacillus reuteri* en forma libre y encapsulada, así como también su perfil microbiológico.

Evaluación microbiológica de los quesos comerciales

Se evaluaron microbiológicamente según la Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010, dos quesos tipo panela comerciales de marcas registradas (M1, M2) y uno artesanal (M3) que fue adquirido en la zona céntrica de San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca. Teniendo los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 2:

Tabla 2. Perfil microbiológico de quesos tipo panela de marcas comerciales y artesanales en un periodo de 21 días de almacenamiento.

MARCA	Mesofílicos aerobios			
	Día 1	Día 7	Día 14	Día 21
M1	4.132±0.019bB	4.325±0.035bB	4.944±0.011aA	5.060±0.085bA
M2	4.107±0.013bD	4.307±0.014bC	4.900±0.004bB	5.061±0.034bA
M3	4.283±0.010aD	4.491±0.002aC	4.929±0.000aB	5.325±0.008aA
Coliformes totales				
M1	3.296±0.006cD	4.335±0.008bC	5.318±0.000bB	6.149±0.029bA
M2	3.476±0.021bD	4.136±0.020cC	5.181±0.002cB	6.001±0.009cA
M3	4.338±0.003aD	5.232±0.001aC	5.750±0.013aB	6.283±0.007aA
Staphylococcus aureus				
M1	3.515±0.024cD	4.149±0.007cC	4.853±0.007bB	5.184±0.013bA
M2	3.892±0.009bD	4.346±0.015bC	4.712±0.001cB	5.105±0.007bA
M3	4.363±0.008aD	5.176±0.005aC	5.950±0.011aB	6.055±0.034aA
Mohos				
M1	2.694±0.092aD	3.543±0.014aC	4.446±0.024aB	4.929±0.001aA
M2	2.299±0.046bD	3.174±0.053bC	3.998±0.009cB	4.507±0.005cA
M3	2.297±0.077bD	3.476±0.030aC	4.145±0.022bB	4.729±0.005bA
Levaduras				
M1	3.698±0.028bD	4.361±0.005bC	4.528±0.016bB	5.119±0.008bA
M2	3.601±0.024cD	3.715±0.009cC	3.857±0.014cB	4.015±0.008cA
M3	3.999±0.010aD	4.662±0.000aC	5.131±0.002aB	5.432±0.002aA
Salmonella spp				
M1	-- Presencia --			
M2	-- Presencia --			
M3	-- Presencia --			

Los resultados son el promedio ± la desviación estándar del análisis por duplicado. Las letras minúsculas en la misma fila indican que hay diferencias significativas entre los quesos y las letras mayúsculas indican diferencias significativas respecto al tiempo.

Los resultados son presentados en Log UFC/g de queso panela, debido a que estas cantidades superaron el rango establecido por la NOM antes mencionada.

En la Tabla 2 se observa notablemente diferencias significativas en el crecimiento de bacterias patógenas en el transcurso del tiempo de almacenamiento; el queso tipo panela artesanal presentó mayor cuenta microbiana que

el resto de los quesos, asimismo el queso de la marca M2 presentó menor cuenta microbiana al finalizar los 21 días. A los tres quesos se le determinó presencia de *Salmonella* spp desde el primer día de análisis.

Evaluación de la viabilidad de *Lactobacillus reuteri* en los quesos

A los quesos obtenidos se les evaluó la viabilidad de la bacteria probiótica por vaciado en cajas con agar MRS en un tiempo de 21 días de almacenamiento, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3. Evaluación de la viabilidad de *Lactobacillus reuteri* libre o encapsulado adicionado a quesos tipo panela.

TRATAMIENTOS	DÍA 1	DÍA 7	DÍA 14	DÍA 21
E1	8.693±0.099bC	8.920±0.040bcBC	9.143±0.070bAB	9.258±0.054aA
E2	8.900±0.011abB	9.094±0.103abAB	9.292±0.021abA	9.374±0.100aA
E3	9.075±0.077aC	9.228±0.023aBC	9.416±0.038aAB	9.443±0.051aA
L1	8.694±0.018bA	8.583±0.056dA	8.507±0.085cAB	8.352±0.013bB
L2	8.846±0.117abA	8.630±0.071dAB	8.511±0.009cB	8.458±0.085bB
L3	9.010±0.092abA	8.776±0.051cdAB	8.717±0.064cAB	8.471±0.154bB

Los resultados son el promedio ± la desviación estándar del análisis por duplicado. Las letras minúsculas en la misma fila indican que hay diferencias significativas conforme a los tratamientos y las letras mayúsculas indican diferencias significativas respecto al tiempo.

E1= Cuajada+0.5% de *Lr* encapsulado, E2= Cuajada+1.0% de *Lr* encapsulado, E3= Cuajada+1.5% de *Lr* encapsulado, L1= Cuajada+0.5% de *Lr* libre, L2= Cuajada+1.0% de *Lr* libre, L3= Cuajada + 1.5% de *Lr* libre

En la Tabla 3 se observa que los tratamientos que contenían encapsulados de *Lactobacillus reuteri* mostraron un incremento en la viabilidad del probiótico en el periodo de almacenamiento, existiendo una diferencia significativa respecto al tiempo ($p < 0.05$) pero no entre los tratamientos; esto debido a que en los encapsulados donde se encuentra el microorganismo se genera un microambiente que brinda protección a cambios externos que pueden afectar su desarrollo, obteniendo así al día 21 para E1, E2 y E3 un conteo de 9.25, 9.37 y 9.44 Log UFC/g respectivamente, sobrepasando la concentración viable de 6 Log UFC/g, por lo que se considera como un alimento probiótico; asimismo los tratamientos que contenían *Lactobacillus reuteri* libre presentaron un descenso en la viabilidad del microorganismo durante el almacenamiento pero no se observó una diferencia estadística significativa respecto al tiempo ($p < 0.05$), obteniendo una cuenta que inició con 8.69, 8.84 y 9.01 Log UFC/g para L1, L2 y L3 respectivamente en el primer día y, finalizando al día 21 con 8.35, 8.45 y 8.47 Log UFC/g, considerándose aun así como un queso probiótico. La supervivencia entre el microorganismo encapsulado fue significativamente superior a la del microorganismo libre, evidenciando que la encapsulación si logró mejorar la supervivencia del microorganismo.

Caracterización microbiológica de los quesos elaborados

Al mismo tiempo a los quesos tipo panela elaborados se le realizaron análisis para determinar la calidad microbiológica según la Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010 así como su estabilidad durante la vida útil. Para la realización de los análisis, los quesos se mantuvieron en refrigeración hasta el momento que se hicieron las pruebas. En la Tabla 4 se muestran los límites máximos permisibles de conteo microbiano en quesos frescos según la norma.

Tabla 4. Límites máximos de contenido microbiano en quesos frescos.

MICROORGANISMO	LÍMITE MÁXIMO
Mesófilos aerobios	10,000 UFC/g
Coliformes totales	≤100 UFC/g
<i>Staphylococcus aureus</i>	≤100 UFC/g
Mohos y Levaduras	500 UFC/g

La presencia de bacterias lácticas en la fabricación de los quesos podría restringir en el desarrollo de otras bacterias, ya sea por competencia o por la producción de sustancias antimicrobianas como lo hace *Lactobacillus reuteri*.

Conteo de Mesofílicos aerobios

Recuentos altos de Mesofílicos aerobios pueden indicar un almacenamiento inadecuado, muchos de estos microorganismos son responsables de las modificaciones organolépticas del queso. Soria-Herrera (2020) reportó un recuento que va de 2,624 a 6,480,000 UFC/g en los quesos frescos y de adobera sobrepasando los límites establecidos por la NOM-243-SSA1-2010. La Figura 1 representa el comportamiento del desarrollo de los Mesofílicos aerobios durante un periodo de 21 días de almacenamiento, donde los tratamientos con el *Lactobacillus reuteri* libre mostraron el menor crecimiento de bacterias, en comparación con los tratamientos encapsulados y el control.

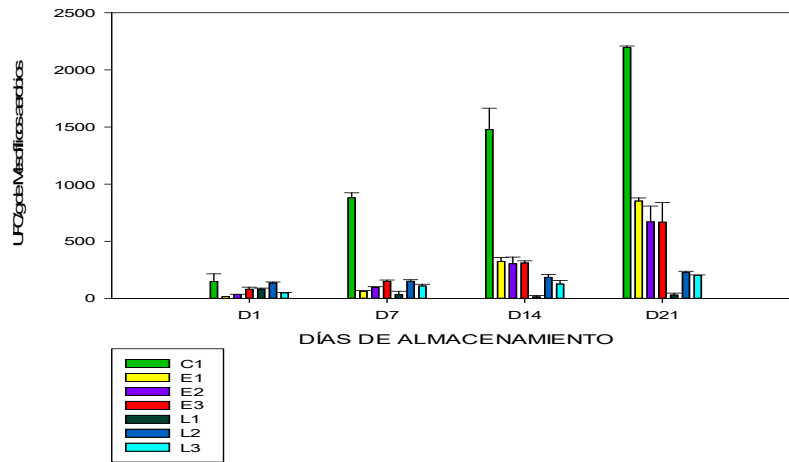


Figura 1. Comportamiento de Mesofílicos aerobios en los quesos elaborados con Lr. libre o encapsulado

Conteo de coliformes totales

Los coliformes habitualmente son residentes de los intestinos de animales y humanos, cuando estas bacterias llegan a los alimentos suelen multiplicarse significativamente, resultado de malas prácticas de higiene en la manufactura de los quesos e inclusive por la materia prima con que se elabora. Los resultados son más bajos en comparación con Soria-Herrera (2020), quien reportó que el 94% de las muestras de queso adobera no cumplen con lo establecido por la norma, y en tanto para el queso fresco un 66.7% se encontraron fuera de los límites permitidos. La Figura 2 nos muestra el crecimiento de coliformes durante el almacenamiento de los quesos.

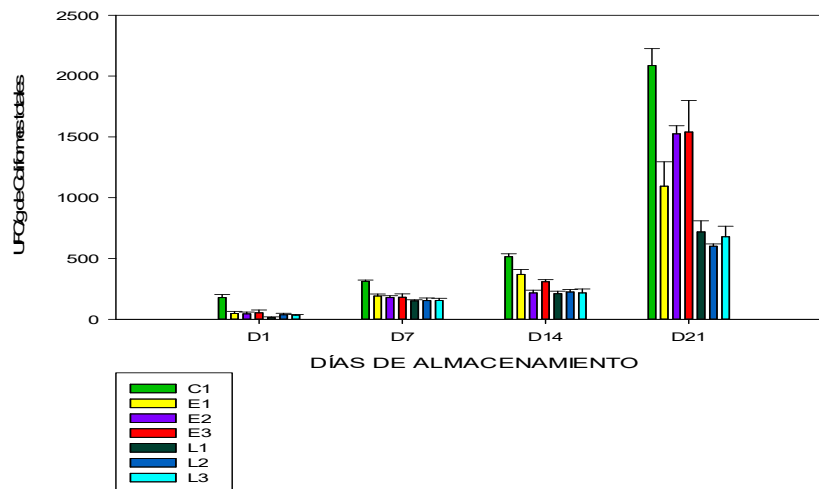


Figura 2. Comportamiento de Coliformes totales en los quesos elaborados con Lr. libre o encapsulado

Conteo de *Staphylococcus aureus*

La presencia de *S. aureus* indica una contaminación a partir de la manipulación del alimento, por el material, el equipo de trabajo y la materia prima, como la leche de vaca contaminada por mastitis. Los quesos evaluados en este proyecto no presentaron un conteo por encima de los valores permitidos por la norma. En la Figura 3 observamos que los tratamientos C1, E2 y E3 se encuentran dentro del rango de *S. aureus* para quesos hasta el día 7, mientras que E1 se encuentra en el rango hasta el día 14. Los tratamientos con el microorganismo libre L1, L2 y L3 se mantuvieron sin una cuenta microbiana de *S. aureus* durante su almacenamiento.

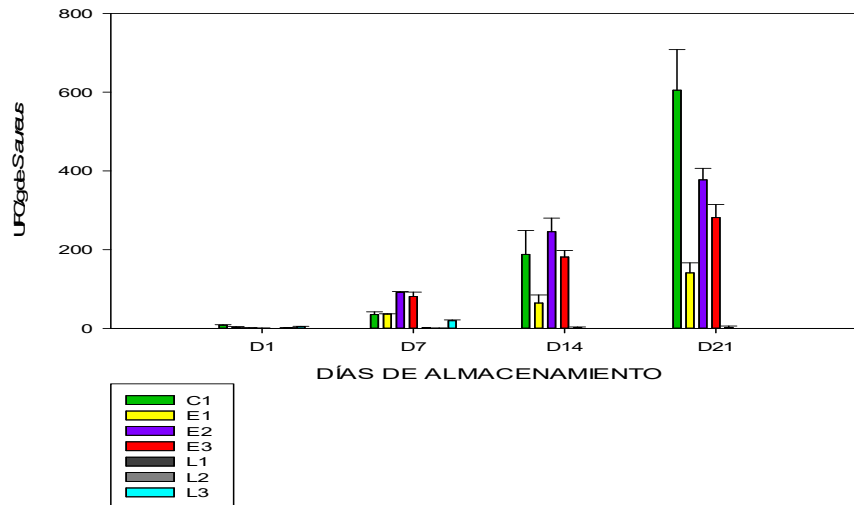


Figura 3. Comportamiento de *Staphylococcus aureus* en los quesos elaborados con Lr. libre o encapsulado

Conteo de mohos y levaduras

Los hongos pueden causar un deterioro en los quesos, cambios en sus características sensoriales, así como la producción de micotoxinas que pueden convertirse en un riesgo para la salud del consumidor. La Figura 4 muestra el desarrollo de estos microorganismos durante su almacenamiento, siendo notable que los tratamientos con *Lactobacillus reuteri* encapsulado no mostraron una producción de mohos durante la cuantificación, mientras que el tratamiento control y los tratamientos con el probiótico libre si reportaron conteos de estos hongos, encontrándose dentro del rango establecido por la NOM. Los resultados que Soria-Herrera en 2020 reportó superaron el máximo permisible con 80,800 UFC/g para el queso adobera y 96,400 UFC/g para quesos frescos, siendo excesivamente mayores a los resultados reportados en este proyecto.

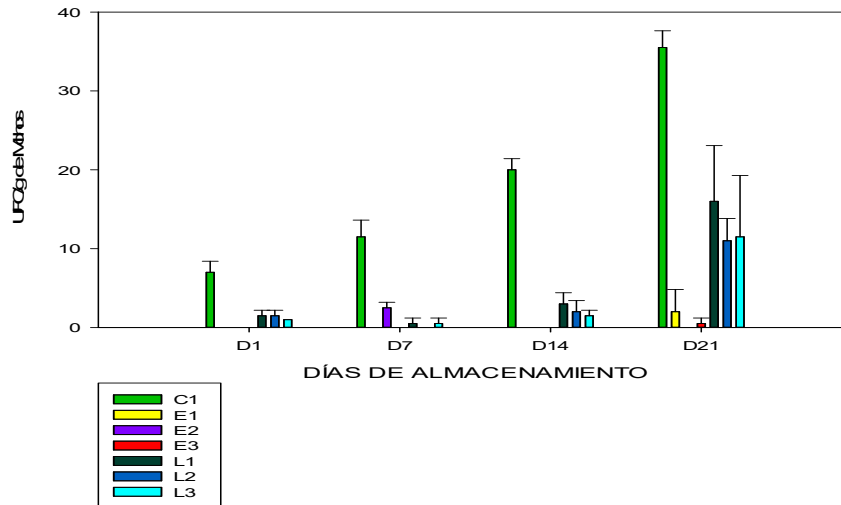


Figura 4. Comportamiento de Mohos en los quesos elaborados con Lr. libre o encapsulado

Las levaduras están presentes en distintas variedades de quesos, frecuentemente en alto número. Contribuyen en el proceso de maduración o por el contrario, pueden producir alteraciones en ellos. Su presencia es atribuida a sus diferentes características tecnológicas, como la habilidad para desarrollarse a bajas temperaturas, resistencia a altas concentraciones de sal y a sanitizantes, y la habilidad de tolerar bajos valores de aw y pH. En la Figura 5 se puede observar notoriamente la diferencia del desarrollo de estos microorganismos entre los tratamientos, siendo los sistemas con el *Lactobacillus reuteri* libre los de menor crecimiento durante su almacenamiento, esto pudiéndose deber a que el probiótico puede actuar en contra de microorganismos no deseados cuando se encuentra libre en los quesos. La presencia de hongos en queso fresco se debe a que el ambiente de trabajo, los equipos, utensilios y el almacenamiento presentan deficiencias higiénicas.

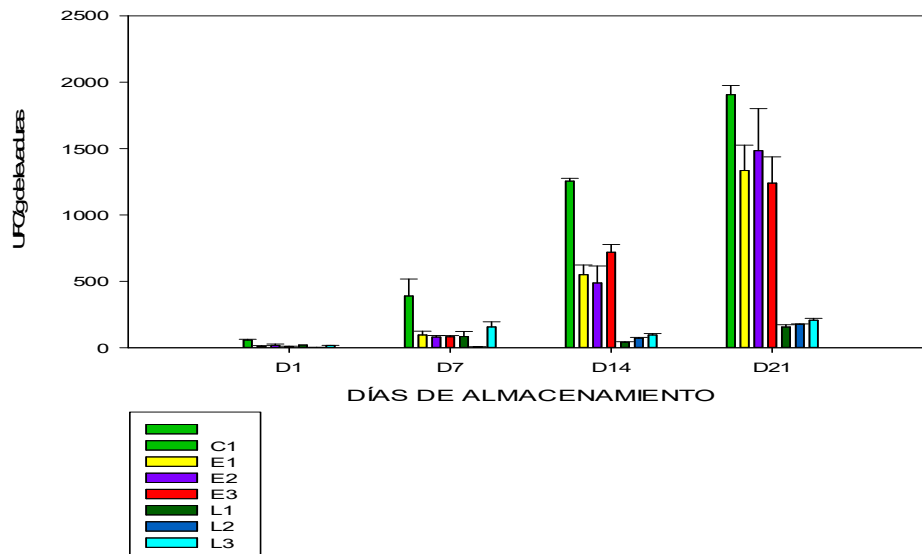


Figura 5. Comportamiento de Levaduras en los quesos elaborados con Lr. libre o encapsulado

Conteo de *Salmonella spp*

La presencia de microorganismos patógenos en los quesos depende del tratamiento térmico de la leche, de la limpieza en general, del manejo de la cuajada durante la elaboración y de la temperatura de almacenamiento; todo esto es importante debido a que el queso panela tiene un alto nivel de humedad que facilita la proliferación de microorganismos patógenos como *Salmonella*. Cabe mencionar que la salmonelosis es una de las enfermedades más importantes, y que los quesos se han visto involucrados en su brote.

Los quesos panela aquí elaborados no reportaron presencia de este patógeno durante los 21 días de almacenamiento, como se puede observar en la Tabla 5 todos los tratamientos se encuentran dentro de la NOM-243-SSA1-2010, en comparación con Soria-Herrera (2020) quien reportó presencia de *Salmonella* solamente en el queso adobera, esto atribuido a una falta de control durante el proceso de elaboración, o la utilización de leche cruda contaminada, representando un riesgo sanitario para la población que consume estos productos.

Tabla 5. Recuento de *Salmonella spp* en 25 g de queso

TRATAMIENTOS	DÍA 1	DÍA 7	DÍA 14	DÍA 21	LÍMITES MÁXIMOS
E1		-- AUSENTE --			AUSENTE
E2		-- AUSENTE --			
E3		-- AUSENTE --			
L1		-- AUSENTE --			
L2		-- AUSENTE --			
L3		-- AUSENTE --			

Conclusiones

Los quesos comerciales y el queso artesanal obtenido en la región, reportaron conteos que superaron excesivamente los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-243-SSA1-2010, durante su almacenamiento. Siendo no aptos para el consumo. Los tratamientos con *Lactobacillus reuteri* encapsulado mostraron una mayor viabilidad del probiótico durante su almacenamiento, existiendo un crecimiento en cada análisis realizado; esto debido a que el sistema de los encapsulados actúan como un ambiente que protege al probiótico de factores externos que afectan su desarrollo. Todos los quesos son considerados alimentos probióticos al encontrarse arriba de las 106 UFC/g del microorganismo. Los tratamientos con sistema libre reportaron una mayor eficacia en cuanto a la inhibición de patógenos en los quesos. Siendo los quesos con el *Lacobacillus reuteri* libre, quesos probióticos e inoocuos.

Referencias

- [1] K. Rodríguez-Pérez, M. Vivar-Vera, J. Rodríguez-Miranda and E. Paz-Gamboa, "Efecto de un multi-compuesto polimérico en la coencapsulación de *Lactobacillus reuteri* expuesto a altas temperaturas." *Avances y Perspectivas en Biotecnología y Ciencias Agropecuarias*, 31-49, 2016.
- [2] A. Chávez-Montaño, E. Paz-Gamboa, M. Martínez-Morán, A. Pérez-Silva and E. Herman-y Lara, "Effect of glycerol on the viability of *Lactobacillus reuteri* in panela cheese," *Journal of bioengineering and biomedicine research*, 91-94, 2022.
- [3] R. Soria-Herrera, "Evaluación de la calidad microbiológica en queso fresco y adobera, de la región de tierra caliente del estado de Michoacán," *Repositorio institucional de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 2020.
- [4] NORMA OFICIAL MEXICANA - NOM. NOM-110-SSA1-1994: bienes y servicios. Preparación y dilución de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. México, D.F., 1994.
- [5] NORMA OFICIAL MEXICANA - NOM. NOM-092-SSA1-1994: bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. México, D.F., 1994.
- [6] NORMA OFICIAL MEXICANA - NOM. NOM-113-SSA1-1994: bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa. México, D.F., 1994.

- [7] NORMA OFICIAL MEXICANA - NOM. NOM-115-SSA1-1994: bienes y servicios. Método para la determinación de *Staphylococcus aureus* en alimentos. México, D.F., 1994.
- [8] NORMA OFICIAL MEXICANA - NOM. NOM-111-SSA1-1994: bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos. México, D.F., 1994d.
- [9] NORMA OFICIAL MEXICANA - NOM. NOM-114-SSA1-1994: bienes y servicios. Método para la determinación de *Salmonella* en alimentos. México, D.F., 1994f.
- [10] NORMA OFICIAL MEXICANA - NOM. NOM-243-SSA1-2010: leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. México, D.F., 2010.

Determinación de los ciclos de reutilización del fotocatalizador ZnO para degradación de Azul de Metileno.

Jessica Pérez-Osorio¹, Betsie Montaña-Flores², Marcela del Carmen Arellano-Cortaza¹, Erik Ramírez-Morales¹, Lizeth Rojas-Blanco^{1*}.

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Avenida Universidad s/n Zona de la Cultura, Colonia Magisterial CP 86690 Villahermosa Centro Tabasco México

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Ciudad Universitaria, Ciudad de México 04510, Ciudad de México.

lizethrb@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En este trabajo, se sintetizaron polvos de óxido de zinc (ZnO) por microondas y se evaluó su actividad fotocatalítica utilizando azul de metileno (AM) como solución contaminante. Además, se estudió la capacidad de reutilización del mismo material, usando dos tiempos de residencia: 1 h y 4 h. Los experimentos de reutilización del semiconductor se realizaron usando radiación UV y la recuperación del material semiconductor se llevó a cabo centrifugándolo y secándolo. Se analizó el porcentaje de degradación que tiene el material en cada ciclo y se calculó también el porcentaje de recuperación del material después de cada ciclo. Se encontró que con este material es posible realizar hasta 7 ciclos manteniendo la misma concentración del AM logrando hasta un 90% de degradación y los experimentos con mayor tiempo de residencia son los que mantienen un comportamiento más estable.

Palabras clave: Reutilización, semiconductores, óxido de zinc, colorante.

Abstract

In this work, zinc oxide (ZnO) powders were synthesized by microwave and their photocatalytic activity was evaluated using methylene blue (AM) as contaminant solution. In addition, the reusability of the same material was studied, using two residence times: 1 h and 4 h. Semiconductor reuse experiments were performed using UV radiation and the recovery of the semiconductor material was carried out by centrifuging and drying. The percentage of degradation that the material has in each cycle was analyzed and the percentage of recovery of the material after each cycle was also calculated. It was found that with this material it is possible to carry out up to 7 cycles maintaining the same AM concentration, achieving up to 90% degradation and the experiments with the longest residence time are the ones that maintain a more stable behavior.

Keywords: Recycle, semiconductor, zinc oxide, dye.

Introducción

La industria textil es conocida por hacer uso excesivo del agua, un recurso limitado e indispensable para la supervivencia, además se caracteriza por ser una de las más contaminantes del mundo por el gran volumen de residuos contaminantes que genera [1]. Sus aguas residuales generadas en el proceso son extremadamente nocivas que al desembocar en los cuerpos de agua afectan la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos y terrestres, así como la salud y calidad de vida de las personas que viven en los alrededores [2].

Existen varios procesos que se han utilizado para lograr reducir los contaminantes tóxicos de las aguas residuales, sin embargo, debido a lo complejo que pueden resultar ciertos contaminantes, los tratamientos convencionales no son suficientes para tratarlos, por lo cual se ha optado por utilizar métodos avanzados tal como los procesos de oxidación avanzada (POA), en la cual se encuentra la fotocatalisis heterogénea [3]. Las numerosas investigaciones han demostrado que el ZnO que es usado en la fotocatalisis heterogénea es un excelente semiconductor que permite la degradación de los contaminantes tóxicos en las aguas residuales debido

a que este material tiene una banda de energía de 3.37 eV y una alta energía de excitones de 60 meV lo que facilita una mayor absorción de luz y una mayor capacidad de degradación [4].

En los últimos años se ha estudiado sobre cómo mejorar la actividad fotocatalítica de los semiconductores para lograr mejores degradaciones como, por ejemplo: ZnS/ZnO [5], ZnO/NiO [6] $C_3N_4/NiFe_2O_4$ [7] ZnO/La₂O₃NiO [8] o tal es el caso de la síntesis del ZnO asistido por microondas [9] el fotocatalizador que se utiliza en los experimentos de este artículo, sin embargo, es muy escasa la literatura sobre qué tan eficiente resulta ser un catalizador después de ser reutilizado.

La reutilización de un fotocatalizador podría definirse como su capacidad para que pueda ser usado nuevamente [10]. Estudiar la reutilización de los catalizadores ayuda a determinar, por ejemplo, su uso en tratamientos de aguas residuales en donde exista una alta concentración de tintes [11], evaluar y mejorar el costo de los procedimientos fotocatalíticos, [10] así como aprovechar al máximo el material semiconductor. Es por esto que en este artículo se estudió la eficiencia de la síntesis del ZnO asistido por microondas a partir de varios experimentos de ciclos de reutilización del semiconductor utilizando Azul de Metileno como solución contaminante a degradar con concentración de 5 ppm.

Metodología

Síntesis del ZnO asistido por microondas.

La síntesis del ZnO asistido por microondas se llevó a cabo utilizando la metodología propuesta por Izquierdo y colaboradores [9]. En la figura 1, se observa el procedimiento que se siguió para la síntesis de este material. Se utilizaron 4.4 g de $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ y 0.720 μ l de agua desionizada más 50 ml de C_2H_5OH y se agregaron a un vaso de precipitado, luego se llevó a baño ultrasónico durante 30 minutos y se tomó el pH=8. Posteriormente, la solución se llevó al microondas de la marca Anton Paar a una potencia de 400 W. Al terminar, la solución se centrifugó, se lavó y se secó en el horno a 130°C; los polvos obtenidos se trituraron en mortero y se almacenaron para su uso posterior.

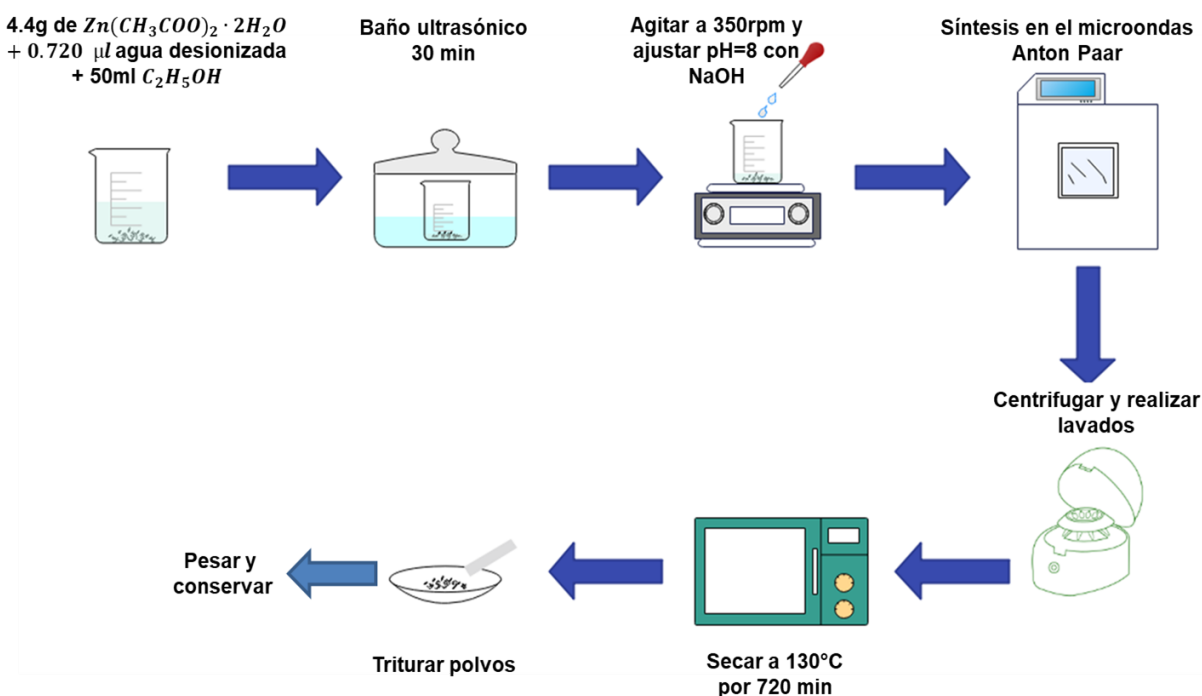


Figura 1. Esquema general del procedimiento para la realización de la síntesis del ZnO asistido por microondas.

Preparación de la solución Azul de metileno (AM) 5 ppm.

La actividad del ZnO sintetizado se evaluó usando azul de metileno (AM), para ello se preparó 1L de solución de azul de metileno (marca CIVEQ con una pureza de $\geq 95\%$) 50 ppm en un vaso de precipitado el cual se agitó durante 720 minutos.

Evaluación fotocatalítica.

La actividad fotocatalítica se evaluó siguiendo la metodología de Arellano y Colaboradores [12] para ello se añadieron 24 mg del catalizador y 80 ml de solución de AM 10 ppm a un vaso de precipitado el cual se utilizó como reactor. La concentración de la solución fue de 0.3 mg/mL o 0.3 g/L, después la solución fue llevada a un baño ultrasónico durante 30 minutos. Posteriormente, la solución se colocó en agitación dentro de una caja oscura con una lámpara de luz negra de 30 W de potencia que emite radiación UV, esta lámpara se colocó a una altura de 10 cm a nivel del líquido. Las alícuotas se fueron tomando cada 30 minutos durante 4 horas para verificar su eficiencia fotocatalítica en un espectrofotómetro SHIMADZU UV-2600 con el software ChemStation.

Ciclos de reutilización.

Después de haber probado el rendimiento del material, se comenzó la evaluación de los ciclos de reutilización del material, para ello se determinó trabajar con 72 mg del ZnO sintetizado y con 240 ml de solución AM 5 ppm y se agregaron a un vaso de precipitado, después la solución fue llevada a un baño ultrasónico durante 30 minutos. Posteriormente, la solución se colocó en agitación bajo irradiación de la misma lámpara mencionada anteriormente. Los ciclos de reutilización se evaluaron bajo dos tiempos de residencia: durante 1 hora y 4 horas. En la figura 2, se muestra en resumen el procedimiento para los experimentos de los ciclos de reutilización del ZnO.

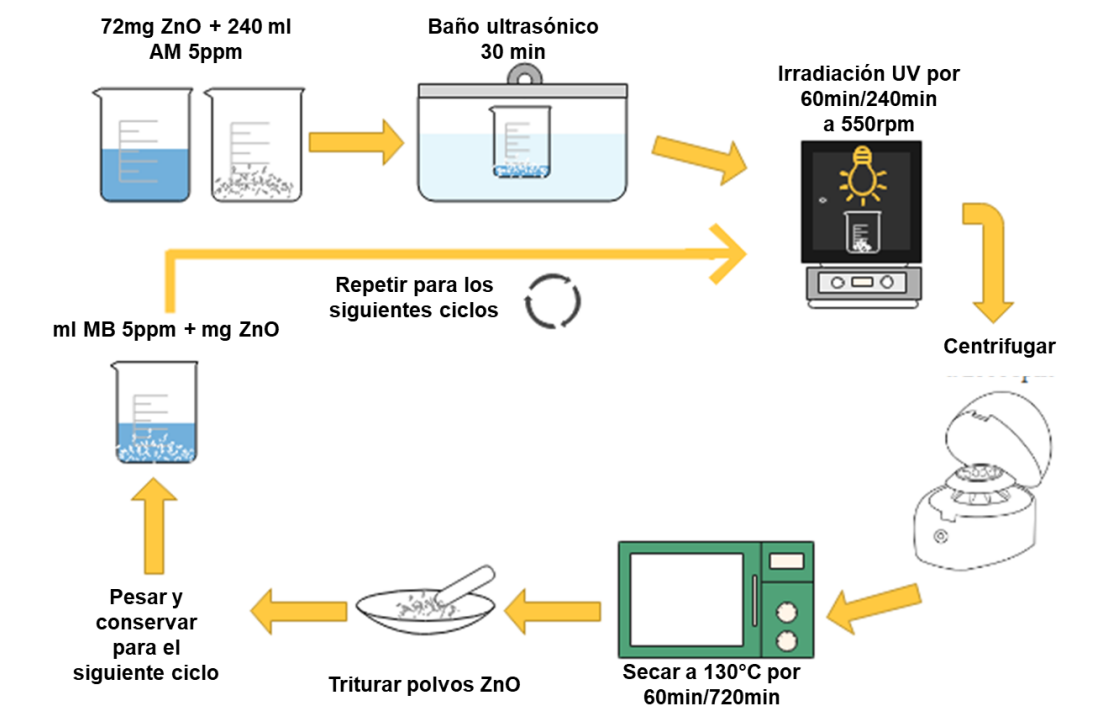


Figura 2. Procedimiento para la realización de los tiempos de residencia del ZnO sintetizado con irradiación UV del Azul de Metileno durante 60 minutos y 240 minutos.

Tiempos de residencia de 1 hora (60 min).

El procedimiento para realizar las corridas para la evaluación durante 1 hora de irradiación fue:

- **Primer ciclo.** Para determinar las condiciones iniciales, se midió la absorción de: a) la solución de AM (-30 minutos), b) la solución AM + fotocatalizador después del baño ultrasónico (0 minutos) y c) la solución después de la primera hora de irradiación de la muestra.
- **Segundo-Séptimo ciclo.** Terminada la primera hora, el material fotocatalizador es recuperado, secado y pesado. Para iniciar con el ciclo correspondiente, la solución de AM es cambiada por una de la misma concentración inicial y se ajusta el volumen en función de la cantidad de material recuperado para conservar en cada ciclo las mismas condiciones. Posteriormente, se tomaron alícuotas de la solución: a)

antes de la irradiación (0 minutos) y b) después 1 hora de contacto fotocatalizador-solución de AM (tiempo de residencia).

Tiempos de residencia de 4 horas (240 min).

La metodología utilizada para realizar los experimentos de tiempo de residencia de cuatro horas fue:

- Primer ciclo. Se tomaron alícuotas de la solución: a) antes del baño ultrasónico (-30 minutos), b) después del baño ultrasónico (0 minutos) y c) después de 4 horas de irradiación de la muestra.
- Segundo-Sexto ciclo. Mismo procedimiento que en la sección de 60 minutos. Se tomaron alícuotas de la solución: a) antes de la irradiación (0 minutos) y b) después de 4 horas de irradiación de la muestra.

A cada una de las alícuotas tomadas se les media el pH y la T y eran selladas para impedir el paso de la luz y evitar que continuara la degradación de la solución. Para la recuperación del fotocatalizador, todas las alícuotas se centrifugaron, después los polvos se secaron, se trituraron y se pesaron para continuar con el ciclo correspondiente.

Resultados y discusión

A continuación, se muestra la prueba de fotocatálisis del ZnO con pH=8. En la figura 3, se observa el diagrama de Longitud de onda vs Absorbancia que revela el seguimiento de la banda característica del azul de metileno que es en ~664 nm, la cual tiene una degradación de ~90% del AM con concentración inicial de 0.3mg/ml. Es importante resaltar este resultado, ya que con esto se pone en evidencia la actividad fotocatalítica del material para que posteriormente se pueda evaluar sus ciclos de reutilización.

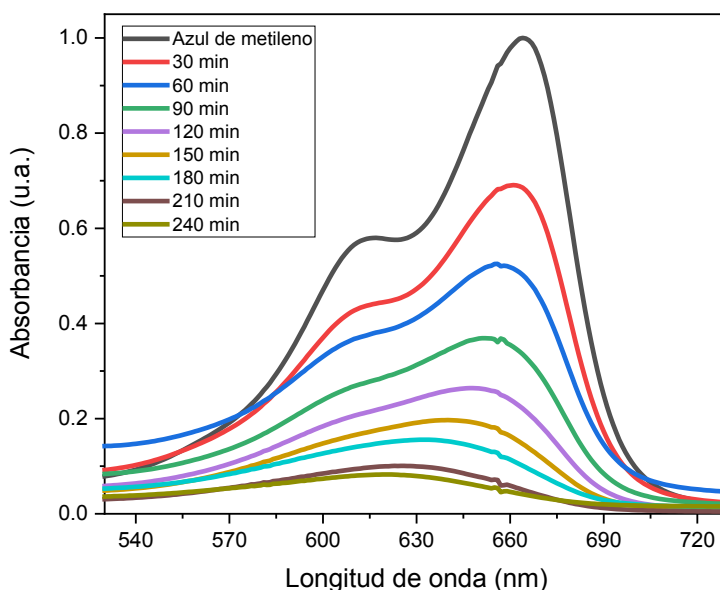


Figura 3. Degradación del azul de metileno en 4 horas de irradiación con lámpara UV, usando el ZnO sintetizado como semiconductor pH=8. Arellano y Colaboradores [12].

Se realizaron dos corridas para la evaluación de los tiempos de residencia de 1 hora y dos corridas para la evaluación de los tiempos de residencia de 4 horas. Después de determinar la absorbancia de cada una de las alícuotas en cada ciclo, se calculó el porcentaje de degradación, utilizando la siguiente ecuación [12]:

$$DE (\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} * 100 = \frac{A_0 - A_t}{A_0} * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde C_0 y A_0 son la concentración inicial y absorbancia inicial del contaminante respectivamente y C_t y A_t , son la concentración y absorbancia del azul de metileno de un determinado tiempo.

La figura 4, muestra el comportamiento del número de ciclo vs % degradación, correspondiente a tiempos de residencia de 1 hora. Es importante resaltar que para cada ciclo la concentración inicial era la misma y que los

tiempos de residencia de una hora favorecen esos cambios abruptos en los porcentajes de degradación. Se observa también, que en ambas corridas presentan un comportamiento similar, con porcentajes de degradación que aumentan y disminuyen, logrando porcentajes máximos de 83% y 79% en el 4° y 5° ciclo respectivamente.

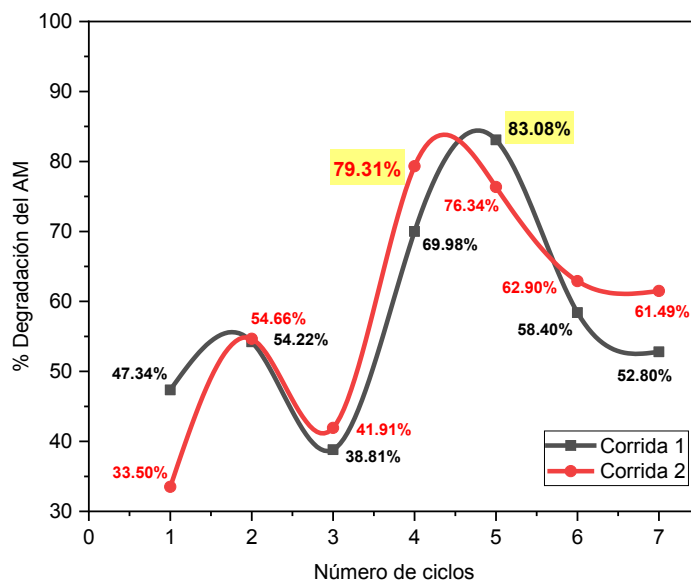


Figura 4. Número de ciclos vs % de degradación del azul de metileno con tiempos de residencia de 1 hora.

En la figura 5, correspondiente a tiempos de residencia de 4 horas, se observa que la degradación del azul de metileno resulta más eficiente pues se logran alcanzar porcentajes de degradación de hasta un 99% en el 6° ciclo. También se observa que estos tiempos de residencia prolongados, evitan fluctuaciones abruptas como fue lo observado en los tiempos de residencia de una hora; ya que, para este, a partir del 2° ciclo el porcentaje de degradación de la muestra se mantiene por encima del 90%.

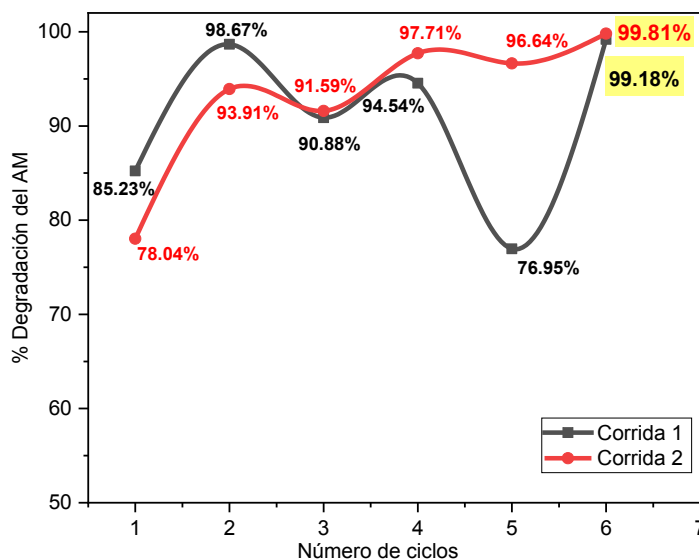


Figura 5. Número de ciclos vs % de degradación del azul de metileno con tiempos de residencia de 4 horas.

Un parámetro importante y determinante en la evaluación de los ciclos de reutilización de un material, es la de recuperar el material fotocatalítico que se está evaluando, ya que de éste depende el número de ciclos que podrá

tener un material. En este caso, antes de comenzar el ciclo de reutilización, se pesó la cantidad de ZnO y en relación a la cantidad pesada era el volumen que se colocaba de solución contaminante; todo lo anterior para mantener las mismas condiciones en cada ciclo. En la figura 6, se encuentra la gráfica de barras en donde se representa el porcentaje de recuperación del ZnO en cada ciclo, recordando que para ambos tiempos de residencia se realizaron dos corridas. Para este primer experimento fue posible realizar hasta 7 ciclos, ya que durante los primeros se logra recuperar alrededor de un 70% del fotocatalizador, pero a partir del 5° ciclo, la recuperación disminuye a solo el 50% aproximadamente; para el ciclo 7° el material recuperado es muy poco (<9%) debido a que para estos últimos ciclos ya se tenían volúmenes muy bajos de solución contaminante.

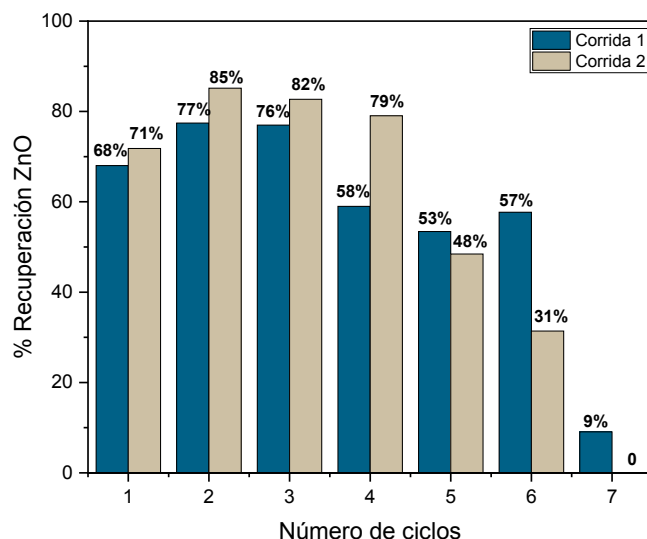


Figura 6. Ciclos vs % de recuperación del ZnO. Secado de 1 hora.

Para tiempos de residencia de 4 horas mostrada en la figura 7, se puede observar que sólo fue posible realizar 6 ciclos ya que el porcentaje de pérdidas fue mayor durante los primeros 5 ciclos. Sin embargo, a pesar de que se tuvieron porcentajes de recuperación con más variaciones que en los tiempos de residencia de 1 hora, los porcentajes de degradación fueron más estables, como se ya mostró en la figura 5.

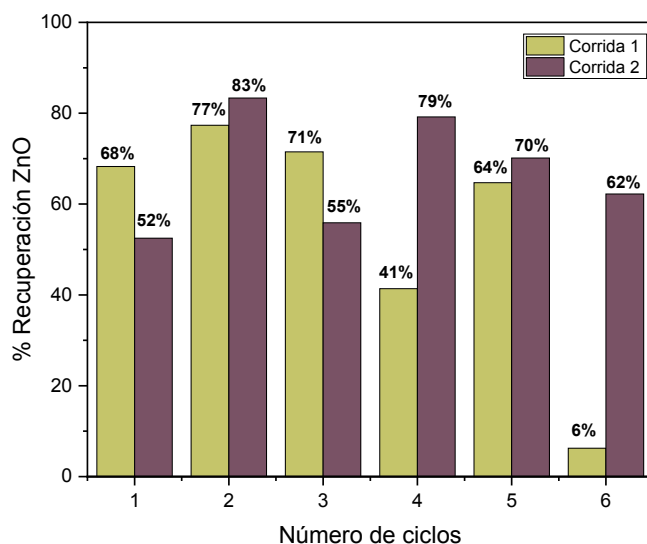


Figura 7. Número de ciclos vs % recuperación del ZnO. Secado de 12 horas.

Trabajo a futuro

A partir de los resultados presentados en este proyecto, los trabajos futuros que se proponen son diversos, el primero de ellos es el de incrementar los tiempos de residencia del fotocatalizador con la finalidad de comparar con los comportamientos aquí reportados. Además de los tiempos de residencia, es necesario que se evalúen mayor número de ciclos de reutilización con la finalidad de determinar el punto en donde el fotocatalizador presente un mínimo estable en su porcentaje de degradación. Otro punto importante que se debe trabajar es el de establecer un método o procedimiento que permita reducir la cantidad de fotocatalizador que se pierde en cada ciclo, ya que con esto se podrán evaluar un mayor número de ciclos. Parámetros como: tipo y concentración de contaminante, cantidad de fotocatalizador, material fotocatalítico, tipo y potencia de lámpara, etc., son algunos de los trabajos que también permitirán entender más acerca de los ciclos de reutilización.

Conclusiones

Después de haber probado la eficiencia fotocatalítica del semiconductor ZnO sintetizado por microondas, se demostró que presenta una buena eficiencia durante las 4 horas que se evaluó frente al contaminante azul de metileno. En la evaluación del número de ciclos de reutilización que el material ZnO, se notó que durante los dos tiempos de residencia que tuvo el fotocatalizador en la solución contaminante, 4 horas es el tiempo que presentó un mejor comportamiento en las dos corridas que se realizaron. Los tiempos de residencia más largos, permitieron obtener porcentajes de degradación mayores a un 90% durante 6 ciclos en las que fue evaluado el material; y también se logra recuperar más de un 60% de ZnO lo cual significa que si se optimiza la metodología de recuperación será posible evaluar al material durante más ciclos hasta que disminuya considerablemente su eficiencia fotocatalítica. Los resultados obtenidos son prometedores ya que, a estos materiales, después de cada ciclo, solo se les realizó un secado después de la recuperación; no se realizaron lavados ni tratamientos térmicos para evaluar la capacidad máxima del material y así no se transfiere la contaminación a otro medio. Con este trabajo se amplía el área de investigación sobre la reutilización de los semiconductores que hasta ahora no ha quedado completamente estudiado.

Referencias.

- [1] Ma. G. Aranda Figueroa and M. G. Valladares Cisneros, "Remoción de colorantes en agua aplicando materiales de origen natural como adsorbentes," *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, Cuernavaca, Morelos, México, pp. 563–575, 2018.
- [2] M. Brañez Sánchez, "Contaminación de los ambientes acuáticos generados por la industria textil," *Campus*, vol. 23, no. 26, pp. 129–143, Dec. 2018, doi: 10.24265/campus.2018.v23n26.03.
- [3] J. C. Durán-Alvarez, E. Avella, and R. Zanella, "Descontaminación de agua utilizando nanomateriales y procesos fotocatalíticos," *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, México D.F, pp. 17–39, Jun. 2015.
- [4] M. Fandzloch *et al.*, "Effect of ZnO on sol–gel glass properties toward (bio)application," *Polyhedron*, vol. 223, p. 115952, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.poly.2022.115952.
- [5] V. Poliukhova *et al.*, "ZnS/ZnO nanosheets obtained by thermal treatment of ZnS/ethylenediamine as a Z-scheme photocatalyst for H₂ generation and Cr(VI) reduction," *Applied Surface Science*, vol. 575, p. 151773, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.apsusc.2021.151773.
- [6] Z. Chen *et al.*, "ZnO/NiO heterostructures with enhanced photocatalytic activity obtained by ultrasonic spraying of a NiO shell onto ZnO nanorods," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 648, p. 129366, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.colsurfa.2022.129366.
- [7] S. Kamal, S. Balu, S. Palanisamy, K. Uma, V. Velusamy, and T. C. K. Yang, "Synthesis of boron doped C₃N₄/NiFe₂O₄ nanocomposite: An enhanced visible light photocatalyst for the degradation of methylene blue," *Results in Physics*, vol. 12, pp. 1238–1244, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.rinp.2019.01.004.

- [8] J. P. Shubha *et al.*, "ZnO/La₂O₃/NiO based ternary heterostructure nano-photocatalyst: Preparation, characterization and its application for the degradation of methylene blue," *Journal of King Saud University - Science*, vol. 34, no. 1, p. 101738, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.jksus.2021.101738.
- [9] F. IZQUIERDO DE LA CRUZ *et al.*, "SYNTHESIS ASSISTED BY MICROWAVE OF ZnO/ZnS/CuS HETEROSTRUCTURES AND ITS PHOTOACTIVITY USING VISIBLE LIGHT FOR DYES DEGRADATION," *Applied Ecology and Environmental Research*, vol. 16, no. 5, pp. 5745–5756, 2018, doi: 10.15666/aeer/1605_57455756.
- [10] A. v. Karim, S. Krishnan, and A. Shriwastav, "An overview of heterogeneous photocatalysis for the degradation of organic compounds: A special emphasis on photocorrosion and reusability," *Journal of the Indian Chemical Society*, vol. 99, no. 6, p. 100480, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.jics.2022.100480.
- [11] K. Hutsul, A. Stepanova, O. Byts, and I. Ivanenko, "Photocatalytic activity of ZnO under near-real conditions," *Materials Today: Proceedings*, vol. 62, pp. 7654–7659, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.02.484.
- [12] M. Arellano-Cortaza, E. Ramírez-Morales, U. Pal, G. Pérez-Hernández, and L. Rojas-Blanco, "pH dependent morphology and texture evolution of ZnO nanoparticles fabricated by microwave-assisted chemical synthesis and their photocatalytic dye degradation activities," *Ceramics International*, vol. 47, no. 19, pp. 27469–27478, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.ceramint.2021.06.170.

MECANISMO DE REACCIÓN CINÉTICO REDUCIDO PARA LA IGNICIÓN DE SEC-BUTANOL

M. Díaz-González^{1,2*}, O. P. Castellanos-Onorio^{2,3}, A. Rodríguez-Leon⁴, G. E. Ovando Chacon⁵,
C. R. González-Escarpeta⁶

¹Maestría en Eficiencia Energética y Energías Renovables, TecNM, Veracruz, Veracruz 91897, México.

²Depto. de Ingeniería Química-Bioquímica, TecNM, Veracruz, Veracruz 91897, México.

³División de Estudios de Posgrado e Investigación, TecNM, Veracruz, Veracruz 91897, México.

⁴Depto. de Sistemas y Computación, TecNM, Veracruz, Veracruz 91897, México.

⁵Depto. de Ingeniería Mecánica, TecNM, Veracruz, Veracruz 91897, México.

⁶Subdirección Administrativa, TecNM, Veracruz, Veracruz 91897, México.

*mario.dg@veracruz.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Para comprender los fenómenos de la combustión, el modelado y la simulación, desempeñan un papel fundamental; debido a que estos sistemas reactivos, están basados en la complejidad de la física de los fluidos y la cinética química de las múltiples etapas de reacción del combustible. Debido a lo anterior, la reducción sistemática de mecanismos es de gran importancia, ya que pueden ser empleados en simulaciones de dinámica de fluidos computacionales (CFD). En el presente trabajo se obtuvo un mecanismo cinético de reacción reducido para la ignición de sec-Butanol en aire, para un amplio rango de temperaturas, aplicando la química detallada de baja temperatura para bio-combustibles y un análisis numérico; usando las herramientas computacionales FlameMaster, Cantera y Octave. Los resultados reportados por la simulación fueron obtenidos por la adición del esquema de reacciones resultantes, al mecanismo base de San Diego, lo cual, es fundamental para alcance de este trabajo.

Palabras clave: sec-Butanol, Mecanismo químico, Modelado, Ignición.

Abstract

To understand the phenomena of combustion, modeling and simulation play a fundamental role, because these reactive systems are based on the complexity of the physics of fluids and the chemical kinetics of the multiple stages of fuel reaction; Due to the above, the systematic reduction of mechanisms is of great importance, since they can be used in computational fluid dynamics (CFD) simulations. In the present work, a reduced reaction kinetic mechanism for the ignition of sec-Butanol in air was obtained, for a wide range of temperatures, by applying detailed low-temperature chemistry for biofuels and numerical analysis, using the computational tools FlameMaster, Cantera and Octave. The results reported by the simulation were obtained by adding the resulting reaction scheme to the San Diego base mechanism, which is fundamental to the scope of this work.

Key words: sec-Butanol, Chemical Mechanism, Modeling, Ignition.

Introducción

El butanol (n-, iso-, sec- y tert-butanol) se puede definir como un biocombustible líquido que es funcionalmente equivalente a los combustibles derivados del petróleo [1]; El biobutanol se puede obtener con las mismas materias primas que el etanol, pero con un proceso modificado de fermentación. El butanol se puede utilizar en vehículos estándar en mezclas de gasolina hasta un 16%; a diferencia del etanol, el butanol se puede mezclar fácilmente con diésel [2]. Además, debido a su relativamente mayor resistencia a la absorción de agua y una menor volatilidad, el transporte y almacenamiento se pueden manejar fácilmente por la infraestructura existente. Debido a esta importancia es necesario comprender la oxidación de este bio-combustible, centrándose en el modelado de uno de los aspectos más importantes de la combustión, el fenómeno de la ignición. Para ello diversos

mecanismos detallados [3, 4], con miles de reacciones y cientos de especies, han sido reportados en la literatura y probados para modelar diferentes procesos de combustión, incluyendo la velocidad de flama y el tiempo de ignición. Debido a que estos modelos químicos son demasiado complejos para varios propósitos prácticos, existe la necesidad de derivar mecanismos de reacción reducidos [5-7]. El objetivo de este trabajo es obtener un mecanismo cinético reducido para la ignición del biocombustible sec-Butanol, que se pueda aplicar en la solución de problemas de combustión, de interés práctico, sin las limitaciones de hardware, y de tiempo computacional, que la mayoría de los mecanismos cinéticos detallados presentan; se incluye la química de baja temperatura para cubrir el conjunto más amplio de experimentos obtenidos para los fenómenos de ignición. Se presenta un análisis de sensibilidad, para probar la influencia de cada reacción elemental en el tiempo de ignición. Por el bien de la simplicidad del presente mecanismo del sec-Butanol, las emisiones contaminantes derivadas de la combustión de este alcohol no están incluidas.

Metodología

Para cualquier sistema químico, las especies químicas presentes, la termodinámica y la cinética de reacción, están vinculadas; de modo que la solución del sistema tiene que englobar la interacción del aspecto térmico-químico, con las ecuaciones de cantidad de movimiento de los fluidos. Esta interacción es necesaria para poder conocer con precisión el cambio de las diferentes propiedades, desde el estado inicial hasta el final. La solución del conjunto de ecuaciones diferenciales que resulten de dicha interacción puede ser muy complejo de realizar, incluso requiriendo forzosamente el uso de herramientas computacionales.

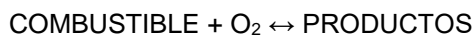
Sin embargo, existen un tipo de sistemas en el que, por las condiciones en que se desarrolla el proceso de oxidación, se pueden realizar una serie de simplificaciones para reducir la complejidad del sistema de ecuaciones diferenciales a resolver. En estos sistemas se puede suponer que la composición de la mezcla y la temperatura en el interior son homogéneos. Esto ocurre en sistemas en los que el proceso de mezclado en su interior es lo suficientemente intenso como para garantizar que la composición y la temperatura en un instante de tiempo determinado son uniformes independientemente de la posición. Estos sistemas se denominan homogéneos; es decir donde, la temperatura y la composición no cambian en función de la posición (0D), salvo en pequeñas regiones de las zonas de entrada y salida del sistema y en las capas límites junto a las paredes.

El estudio del proceso de combustión en sistemas homogéneos particulares (combustión en un sistema cerrado a presión constante, a volumen constante, combustión en cámara adiabática de volumen $v(t)$ conocido, reactor adiabático con mezcla perfecta, etc.), impone una serie de condiciones que reducen las ecuaciones generales de conservación de la energía y especies, que permite simplificar el problema, pudiendo conocer ciertos aspectos del fenómeno de combustión: como el proceso de ignición; que de otro modo sería extraordinariamente complejo.

El modelo físico de estudio en esta investigación es una mezcla confinada de aire-combustible, susceptible de reaccionar, donde se activa, en algún instante el proceso de ignición; cuyas ecuaciones de conservación son las siguientes:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\partial P}{\partial t} + \sum_{i=1}^N \dot{\omega}_i h_i M_i = 0$$
$$\rho \frac{\partial Y_i}{\partial t} = \dot{\omega}_i$$

que son las ecuaciones de energía, y de las especies respectivamente; donde i se refiere a cada especie química presente en el sistema, ρ representa la densidad, c_p capacidad calorífica a presión constante, T es la temperatura de la mezcla, t corresponde al tiempo, h_i es la entalpía específica, $\dot{\omega}_i$ la velocidad de reacción, Y_i fracción másica. La solución del modelo físico descrito anteriormente, para cualquier conjunto de etapas elementales propuesto (mecanismo de reacción), asociadas a la reacción global;



está representado por el tiempo de ignición t_i , determinado por el instante, donde la temperatura del sistema alcanza su valor máximo; aspecto conocido como "thermal runaway".

$$\dot{\omega}_i = \sum_{j=1}^M k_j(T) \nu'_{ij} \prod_{i=1}^N C_i^{\nu_{ij}}$$
$$k_j(T) = A_j T^{n_j} \exp\left(-\frac{E_j}{RT}\right)$$

Aquí M corresponde al número total de reacciones químicas elementales; ν'_{ij} y ν_{ij} corresponden a los coeficientes estequiométricos de la especie i en la reacción química j , como producto y como reactivo respectivamente. Las constantes A_j , n_j y E_j son tomadas de las reacciones químicas que forman el mecanismo cinético propuesto. La solución de las ecuaciones de energía y de especies acopladas con las correspondientes condiciones iniciales $T(0) = T_0$ y $C_i(0) = C_{0i}$; se obtiene usando códigos convencionales para sistemas de ecuaciones diferenciales. El criterio de ignición utilizado corresponde al tiempo de agotamiento del combustible principal y al aumento máximo de temperatura, caracterizado por el instante en que la fracción molar del hidrocarburo o biocombustible cae por debajo de 10^{-8} y $T'(t)$ tiende a su máximo valor. Para la simulación numérica se usaron las herramientas computacionales Cantera, Octave y FlameMaster; siendo este último un programa de fuente abierta en C++ para fenómenos de combustión, ya sea para cero dimensiones (tiempo de ignición) y 1D (cálculos de flama). Esta herramienta integral sirve para modelar numéricamente procesos de oxidación química, ya que soporta múltiples configuraciones, así como el uso de complejos mecanismos cinéticos de reacción.

Resultados y discusión

Para el desarrollo de este trabajo es primordial mencionar, que se tomó como base el mecanismo de reacción cinético de la Universidad de California, San Diego (UCSD), "**The San Diego Mechanism**" [8], que abarca hasta el alcano C4, y ha sido probado para un rango de presiones de 1 a 100 bar. Su versión completa, implica sólo 265/267 reacciones y 58 especies. Este mecanismo de UC San Diego ha sido previamente usado y extendido para el análisis de tiempo de ignición y flamas, tanto para altas como para bajas temperaturas [5-7,9-11].

El mecanismo cinético propuesto resultante mostrado en la Tabla 1, tiene, 278/280 reacciones correspondiente a 265/267 del mecanismo de San Diego (SD mech) y 13 reacciones para el sec-Butanol, que proporcionan tiempos de ignición comparables a los que reportan los experimentos. Estas etapas elementales de reacción corresponden a un mecanismo de cadena ramificada (INICIACIÓN, PROPAGACIÓN, RAMIFICACIÓN y TERMINACIÓN). Dentro de las etapas de radicación y terminación, las reacciones de isomerización del radical O2QOOH y la descomposición del radical KETO generan la formación del radical OH como continuador de la cadena, siendo esto fundamental en la química de baja temperatura.

El radical α -hydroxybutyl (SC₄H₈OH-1), producido por la abstracción H, se descompone para formar IC₃H₅OH (R6) o puede reaccionar con oxígeno, para generar un radical hidroperoxi, (reacción R8), donde comienza la química a baja temperatura (reacciones R8-R13). La reacción R2 es la reacción de iniciación de cadena, mientras que las abstracciones del átomo de H, a través de los ataques HO₂ y OH (reacciones R2-R3), son muy importantes para la ignición de alta temperatura. El radical hidroperoxi-alquilo SC₄H₈OH-1O₂ se isomeriza para formar la especie SC₄H₇OH-1OOH-2 (QOOH), reacción R9, esencial para el régimen de baja temperatura. La segunda adición de oxígeno viene dada por la reacción R10, que forma los radicales peroxi-hidroxi-alquilo SC₄H₇OH-1OOH-2O₂, la cual compite directamente con la reacción R11. La reacción R12 corresponde a la ramificación de la cadena, mientras que la descomposición del radical SC₄OHKET2-1 se muestra en la reacción R13. Para probar el mecanismo cinético reducido, se utilizó el programa de computadora FlameMaster [12].

La prueba convencional, para que cualquier mecanismo de combustión cinético tenga éxito, la simulación debe proporcionar un ajuste razonable con los datos experimentales, dentro de las incertidumbres de las mediciones; en este caso, para la validación del mecanismo cinético reducido propuesto, se aplicaron los modelos de reactor isocórico homogéneo de la herramienta computacional FlameMaster [12]. para modelar los datos medidos experimentalmente del tiempo de ignición para alta temperatura.

Los resultados numéricos de este mecanismo se comparan con los desarrollos experimentales del tubo de choque (STD) para diferentes presiones reportados por Stranic et al. [13]. La Figura 1, compara las predicciones del mecanismo cinético reducido con los datos experimentales de una mezcla sec-butanol/O₂/Ar para $T > 900$ K a $\phi = 1.0$ y 43 atm, mientras que la Figura 2, muestra la comparación de los resultados numéricos con los datos experimentales del tiempo de ignición de una mezcla sec-Butanol/O₂/Ar para $T > 900$ K y 1.5 atm.

En general las predicciones del modelo en comparación con los datos experimentales para el sec-Butanol que se muestran en ambas figuras presentan un buen ajuste para la región de alta temperatura $T > 900$ K.

Tabla 1. Mecanismo cinético reducido para la ignición de sec-Butanol.

Nº	REACCIONES	A_j	n_j	E_j
R1	$SC_4H_9OH \leftrightarrow CH_3 + IC_3H_6OH$ INICIACIÓN	1.100E+26	-2.815	92354
R2	$SC_4H_9OH + O_2 \leftrightarrow SC_4H_8OH-1 + HO_2$ PROPAGACIÓN	1.000E+13	0.000	46800
R3	$SC_4H_9OH + OH \leftrightarrow SC_4H_8OH-1 + H_2O$	1.805E+03	2.890	-2611
R4	$SC_4H_9OH + HO_2 \leftrightarrow SC_4H_8OH-1 + H_2O_2$	1.250E-05	5.260	7468
R5	$C_2H_5COCH_3 + H \leftrightarrow SC_4H_8OH-1$	8.000E+12	0.000	9500
R6	$CH_3 + IC_3H_5OH \leftrightarrow SC_4H_8OH-1$	1.760E+04	2.480	6130
R7	$SC_4H_8OH-1 + O_2 \leftrightarrow C_2H_5COCH_3 + HO_2$	3.780E+20	-2.429	3090
R8	$SC_4H_8OH-1 + O_2 \leftrightarrow SC_4H_8OH-1O_2$	1.000E+12	0.000	0.000
R9	$SC_4H_8OH-1O_2 \leftrightarrow SC_4H_7OH-1OOH-2$	2.000E+11	0.000	28450
R10	$SC_4H_7OH-1OOH-2 + O_2 \leftrightarrow SC_4H_7OH-1OOH-2O_2$ TERMINACIÓN	7.540E+12	0.000	0.000
R11	$SC_4H_7OH-1OOH-2O_2 \leftrightarrow CH_3CHO + CO_2 + CH_3 + OH + OH$ RAMIFICACIÓN	2.500E+10	0.000	21886
R12	$SC_4H_7OH-1OOH-2O_2 \leftrightarrow SC_4OHKET2-1 + OH$ TERMINACIÓN	3.750E+10	0.000	25000
R13	$SC_4OHKET2-1 \leftrightarrow OH + HOCHO + C_2H_5CO$	1.000E+10	0.000	39000

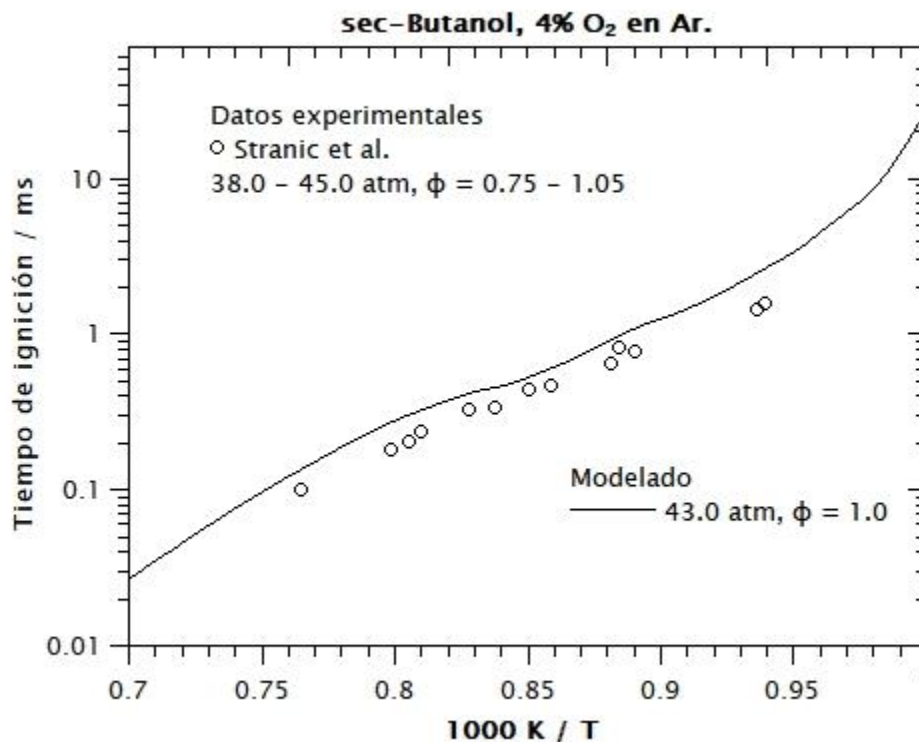


Figura 1. Tiempo de ignición del sec-Butanol para $\phi = 1.0$ y 43 atm; simulación numérica con FlameMaster.

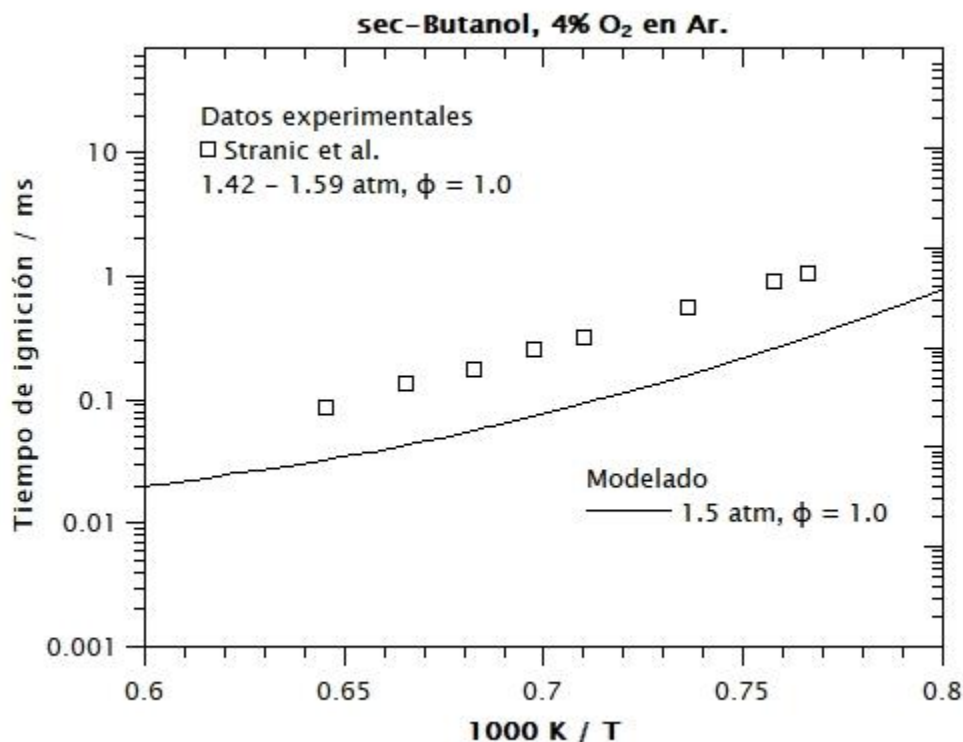


Figura 2. Tiempo de ignición del sec-Butanol para $\phi = 1.0$ y 1.5 atm; simulación numérica con FlameMaster.

El objetivo del análisis de sensibilidad presentado es evaluar la contribución de la cinética de cada reacción j al tiempo de ignición, como función de la temperatura; esta relación se cuantifica con el coeficiente de sensibilidad adimensionalizado s_j , definido por la expresión.

$$s_j = \frac{A_j^0 \tau - \tau^0}{\tau^0 A_j - A_j^0}$$

Donde A_j es el factor preexponencial de la reacción j , τ es el tiempo de ignición; aquí el superíndice cero indica los valores reales correctos. Para cada valor de s_j calculado el factor A_j de cada reacción se multiplica por un factor de dos y se calcula el tiempo de ignición τ . Un valor del coeficiente de sensibilidad negativo ($\tau < \tau^0$), indica alta reactividad; contrariamente, una baja reactividad está indicada por un valor de s_j positivo. La Figura 3, representa el coeficiente de sensibilidad para una mezcla sec-Butanol/O₂/Ar a 1000 K y a una presión de 43 atm. La reacción con menor coeficiente de sensibilidad está dada por la descomposición del radical hydroxybutyl SC₄H₈OH-1, (R6b), seguido de la formación del radical SC₄H₈OH-1 y del peróxido de hidrogeno, por el ataque del radical hidroperóxido (HO₂) al combustible, reacción R4, y junto con la oxidación del radical por R2, marcan la ruta de consumo del combustible para este valor de temperatura. Por otro lado, la baja reactividad del sistema se manifiesta, por las reacciones de oxidación del radical hydroxybutyl SC₄H₈OH-1, para la formación de cetonas (reacción R7) seguida del consumo de radicales OH por el combustible principal (sec-Butanol, reacción R3 y por otros combustibles formados (C₂H₄+OH↔C₂H₃+H₂O) así como por la formación de agua (HO₂+OH↔H₂O+O₂).

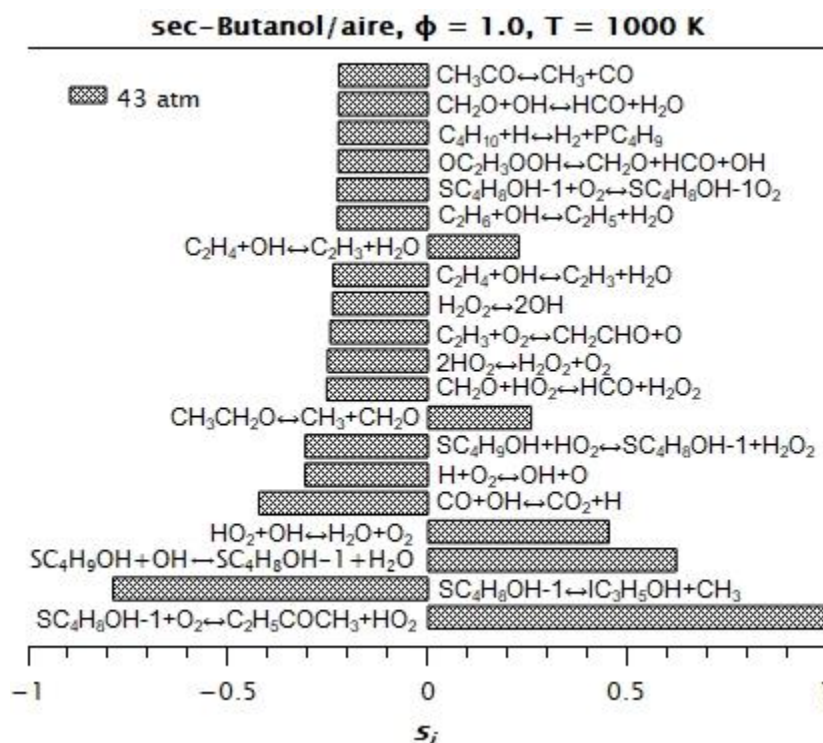


Figura 3. Coeficiente de sensibilidad s_j a 1000 K, sobre el tiempo de ignición de sec-Butanol, $\phi = 1.0$ y 43 atm.

Trabajo a futuro

Analizar unos de los tópicos actualmente más importantes y retadores para los biocombustibles, la ignición a temperaturas menores de 900 K; aunque este mecanismo incluye reacciones de la química de baja temperatura, falta por ajustar dichas reacciones para describir el comportamiento experimental en dicha región $T < 900$ K y presentar resultados. Por otro lado, se tiene que realizar simulaciones de velocidad de flama laminar y presentar resultados. Analizar el proceso de ignición de la mezcla de sec-Butanol con combustibles fósiles y con otros alcoholes, incluso mezclado con sus isómeros.

Conclusiones

El mecanismo de reacción resultante, usado para determinar los tiempos de ignición, que se compararon con los desarrollos experimentales reportados por la literatura, para baja y alta temperatura, surgió agregando las 13 reacciones principales, al mecanismo base de "San Diego".

Las reacciones químicas principales, que se determinaron para describir el proceso de ignición del sec-Butanol (SC_4H_9OH), a baja temperatura son: la reacción de iniciación representada por la deshidrogenación del bio-combustible con oxígeno molecular, $RH + O_2 \leftrightarrow \alpha-R + HO_2$ para formar el radical $\alpha-R$, α -hydroxybutyl (SC_4H_8OH-1), debido al ataque del carbón α ; posteriormente las reacciones de propagación de $\alpha-R$, representadas por la primera oxidación $\alpha-R + O_2 \leftrightarrow \alpha-RO_2$, $SC_4H_8OH-1O_2$ (radical hidroperoxialquilo), la reacción de isomerización $\alpha-RO_2 \leftrightarrow QOOH$, $SC_4H_7OH-1OOH-2$, y la segunda oxidación $QOOH + O_2$, $SC_4H_7OH-1OOH-2O_2$ (peroxy-hydroxy-alquilo); seguida de la ramificación de cadena $O_2QOOH \leftrightarrow KETO + OH$; por último la reacción de terminación del $SC_4OHKET2-1$. La contribución cinética muestra que, para alta temperatura, el sec-Butanol se consume principalmente por el ataque de los radicales HO_2 y OH . El presente estudio muestra que es posible estudiar el proceso ignición de alta y baja temperatura para el sec-Butanol a partir del mecanismo de San Diego, agregando algunas reacciones apropiadas; logrando extender la gama de aplicación del mecanismo cinético reducido, como en la simulación de los motores de encendido por compresión.

Agradecimientos

Los autores y colaboradores agradecen al TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO por el apoyo financiero otorgado para de este proyecto, así como la infraestructura e instalaciones disponible en el campus del INSTITUTO TECNOLÓGICO DE VERACRUZ.

Referencias

- [1] Bello, S. K., Madu, C., Bello, K. A., Lamidi, S. B., Bello, A. B., Oshinlaja, S. A., "Sustainable Biofuel Production Process: Sources, Prospects and Challenges," *International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM)*, vol. 2, no. 8, pp. 442-450, 2020.
- [2] http://energyfuturecoalition.org/wp-content/uploads/2016/06/biofuels_faq.pdf.
- [3] Sarathy, S. M., Vranckx, S., Yasunaga, K., Mehl, M., Oßwald, P., Metcalfe, W. K., Curran, H. J., "A comprehensive chemical kinetic combustion model for the four butanol isomers," *Combustion and Flame*, vol. 159, no. 6, pp. 2028-2055, 2012.
- [4] Black, G., Curran, H. J., Pichon, S., Simmie, J. M., Zhukov, V., "Bio-butanol: Combustion properties and detailed chemical kinetic model," *Combustion and Flame*, vol. 157, no. 2, pp. 363-373, 2010.
- [5] Díaz-González, M., Treviño, C., Prince, J. C., "A reduced kinetic mechanism for the combustion of n-butanol," *Energy & Fuels*, vol. 32, no. 1, pp. 867-874, 2018.
- [6] Treviño, C., Díaz-González, M., Prince, J. C., "Model of the low-temperature heat release and ignition of n-butanol," *Combustion Theory and Modelling*, vol. 22, no. 6, pp. 1176-1193, 2018.
- [7] Díaz-González, M., Prince, J. C., Castellanos-Onorio, O., "Reaction Model and Heat Release for Low-Temperature Ignition of Isobutanol," *In Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2224, no. 1, pp. 012035, 2022.
- [8] <http://web.eng.ucsd.edu/mae/groups/combustion/mechanism.html>
- [9] Prince, J. C., Treviño, C., Williams, F. A., "A reduced reaction mechanism for the combustion of n-butane," *Combustion and Flame*, vol. 175, pp. 27-33, 2017.
- [10] Prince-Avelino, J., Díaz-González, M., Rodríguez-León, A., Ovando-Chacón, G., "Importance of n-butanol and its application to modeling combustion processes," *Revista del Desarrollo Tecnológico*, vol. 2, no. 6, pp. 15-23, 2018.
- [11] Prince, J. C., Williams, F. A., Ovando, G. E., "A short mechanism for the low-temperature ignition of n-heptane at high pressures," *Fuel*, vol. 149, pp. 138-142., 2015.
- [12] <https://web.stanford.edu/group/pitsch/FlameMaster.htm>
- [13] Stranic, I., Chase, D. P., Harmon, J. T., Yang, S., Davidson, D. F., Hanson, R. K., "Shock tube measurements of ignition delay times for the butanol isomers," *Combustion and Flame*, vol. 159, no. 2, pp. 516-527, 2012.

Aplicación de bacterias ácido-lácticas en una salsa picante

L. Ramírez Gomez¹, E. M. Arzate Escamilla^{1*}, A. García-Ceja², M.L. Sánchez Mundo¹, J. Garrido Islas²

¹Instituto Tecnológico Nacional de México Campus Las Choapas, Ingeniería en Industrias Alimentarias, Carretera Las Choapas - Cerro de Nanchital Km 6, Col. J. Mario Rosado, C.P. 96980, Las Choapas, Veracruz, México.

²Instituto Tecnológico Nacional de México Campus Venustiano Carranza, Av. Tecnológico S/N, Col. el

Huasteco, 73049, Puebla, Puebla, México.

*esthermarielaarzate@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Las bacterias ácido lácticas (BAL) han sido transcendentales en la alimentación por siglos por su enorme aportación al valor de los productos. Debido a varias de sus propiedades metabólicas, las bacterias ácido lácticas cumplen un papel importante en la industria alimentaria, por su contribución significativa al sabor, olor, textura, características sensoriales, propiedades terapéuticas y valor nutricional de los productos alimentarios. Se evaluó la caracterización de la salsa con un aporte de las BAL encapsuladas para su consumo como alimento funcional, mediante la aplicación de las pruebas de grado de acidez, pH y color. Los resultados indicaron que el mejor tratamiento en el parámetro pH, grado de acidez y el parámetro de color fue el tratamiento 2.

Palabras clave: pH, alginato, alimento, funcional.

Abstract

Lactic acid bacteria (LAB) have been transcendental in food for centuries due to their enormous contribution to the value of products. Due to several of their metabolic properties, lactic acid bacteria play an important role in the food industry, due to their significant contribution to the taste, smell, texture, sensory characteristics, therapeutic properties and nutritional value of food products. The characterization of the sauce with a contribution of the encapsulated BAL for its consumption as a functional food was evaluated, through the application of the acidity, pH and color tests. The results indicated that the best treatment in the pH parameter, degree of acidity and the color parameter was treatment 2.

Key words: pH, alginate, food, functional.

Introducción

Desde hace muchos años, los seres humanos han elaborado distintos aditivos y aderezos para realzar el sabor de sus alimentos, o simplemente para hacer más agradable su sabor. Dentro de estos aditivos encontraron a las salsas picantes típicas. Luard [1] expresó que las salsas contienen una mezcla del mundo antiguo y el nuevo, sus salsas requieren ingenio, pero solo unos pocos trucos culinarios, las salsas tienen un propósito general, a saber; un consumo de productos de alta calidad para satisfacer los sentidos. Las técnicas utilizadas en cada preparación son exóticas y deben considerarse, ya que estos procedimientos les dan el sabor indígena de cada país. Gayler [2] señala que las salsas son un elemento esencial en todas las cocinas, y tener en cuenta que muchas salsas se preparan de la misma manera en todos los países, pero solo varían uno o dos ingredientes que son nativos del país, lo que conduce a un nuevo sabor.

Unas quejas comunes entre algunos consumidores de salsas típicas son el aroma y el sabor que esta adquiere al agregarle el vinagre (un sabor considerado como áspero) por lo que en este proyecto se plantea una ruta alternativa, en lugar del ya mencionado ácido acético (vinagre) se utilizara ácido láctico dado que algunos estudios revelan que este último es un realzador que no altera el sabor y aroma originales de los alimentos [3].

Son ampliamente distribuidas en diferentes ecosistemas, además de generarse a gran escala procesos para la producción comercial de alimentos fermentados, bebidas alcohólicas, ensilados, levaduras para la producción de cerveza, vinos y bacterias ácido lácticas (BAL) para la utilización en vegetales, fermentaciones cárnicas [4]. Las BAL vivas pueden estar contenidas en un grupo de microorganismos llamados cultivos lácticos o iniciadores [5].

Así como la utilización de las bacterias ácido lácticas (*Pediococcus* y *Streptococcus*) como ingrediente para elaborar productos funcionales, es debido a varias de sus propiedades metabólicas, las bacterias ácidas lácticas desempeñan un papel importante en la industria alimentaria, por su contribución significativa al sabor, olor, textura, características sensoriales, propiedades terapéuticas y valor nutricional de los productos alimentarios [6]

Los alimentos obtenidos por la fermentación con bacterias lácticas son mejorados en cuanto a sus características sensoriales, nutritivas e higiénicas, y en muchos casos incrementan los rendimientos de producción [7, 8]

Por lo anterior expuesto, en el presente trabajo se evaluó la caracterización de la salsa con un aporte de las BAL encapsuladas para su consumo como alimento funcional, mediante la aplicación de las pruebas de grado de acidez, pH y color.

Metodología

Materiales

El diseño y desarrollo del proyecto se llevó a cabo en el Laboratorio de usos múltiples del Instituto Tecnológico Superior de Las Choapas. La materia prima fue adquirida en la frutería “Don Leo” ubicada en la ciudad de Las Choapas, Ver. El alginato (FMC BioPolymer, Noruega), cloruro de calcio (Meyer, D.F México), caldo MRS broth (Difco™ BD, Sparks, Maryland, EE.UU.) y el agar MRS broth (Difco™ BD, Sparks, Maryland, EE.UU.), lactobacillus Yakult®, agua peptonada (Becton Dickinson, Pont de Claix, France), agua destilada (ADST-20000), papel filtro (Meyer, D.F México), se obtuvieron de un proveedor de reactivos químicos para laboratorio.

Acondicionamiento de la materia prima

Se seleccionó la materia prima, se lavaron con jabón Axió® líquido y posteriormente se desinfectaron con microdyn®. A continuación, en un recipiente de acero inoxidable se sometieron a cocción los chiles jalapeños, tomates verdes por 5 min. Los ingredientes fueron triturados en una licuadora marca Oster Core negro 6832N; por 5 min. Se le adicionaron 20 mL de aceite y se continuó el triturado por otros 3 min, hasta homogenizar, sin apagar la licuadora se adiciona 70 mL de aceite hasta que forme una emulsión, una vez terminado este procedimiento se prosiguió por 30 s adicionales, y se envasó el producto.

Formulaciones de las salsas

Se realizaron formulaciones con cada una de las salsas como se muestra en la Tabla 1. A partir de esta formulación base, se realizaron tratamientos, en concentraciones diferentes de 10, 15 y 25%, de aceite.

Tabla 1. Formulación con diferentes porcentajes de aceite.

Ingredientes (g o mL)	Blanco	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Chile	72	72	72	72
Tomate	105	105	105	105
Cilantro	10.5	10.5	10.5	10.5
Ajo	1.5	1.5	1.5	1.5
Cebollín	7	7	7	7
Aceite	0	70	42	28

Acondicionamiento de la cepa

Las bacterias ácido lácticas (BAL) se caracterizan por ser bacterias Gram-positivas, catalasas negativas, y anaerobio-facultativas [9]. Se utilizó el caldo MRS broth (Difco™ BD, Sparks, Maryland, EE.UU.) y el agar MRS (Difco™ BD, Sparks, Maryland, EE.UU.) Estas cepas fueron activadas y subcultivadas rutinariamente en condiciones anaeróbicas a 37 °C. Para la producción de biomasa, 5 mL de *lactobacillus* en 100 mL de caldo MRS a 37°C durante 18 h en condiciones anaeróbicas. Se sembraron las muestras tomadas con un asa bacteriológica en 8 tubos de ensayo con 10 mL de caldo MRS, se dejaron en la incubadora de 18 a 24 h a 37 °C.

Las células se cosecharon por centrifugación a 8000 RPM durante 10 min y se lavaron dos veces con tampón fosfato (pH 7.0). Las suspensiones celulares se sometieron posteriormente a la encapsulación.

Técnica de encapsulado

Las BAL se suspendieron en un vaso de precipitado con 10 mL de agua estéril, la cual fue incorporada en un matraz con 90 mL de alginato de sodio, se agitaron hasta homogenizar la mezcla. La mezcla fue tomada con una jeringa de 3 mL, donde se dejó caer gota a gota a una distancia de 5 cm a una solución de 150 mL de cloruro de calcio estéril, se dejó reposar las perlas por 10 min. Las perlas se tamizaron y se lavaron con agua destilada estéril, se colocaron en papel filtro para que se terminaran de secar. Posteriormente se pesaron las perlas, 10 g se agregaron a cada recipiente de salsa de 250 g, la mitad de ellas se dejaron a temperatura ambiente y la otra mitad en refrigeración, para después realizar las diferentes caracterizaciones. Un recipiente de salsa quedo como blanco.

El acondicionamiento de las bacterias ácido lácticas Figura 1, fue muy importante debido a que de los medios de cultivo realizados, se tomaron las BAL que fueron encapsuladas y se aplicaron en la salsa para darle un valor agregado y que esta se transformara en un alimento funcional.

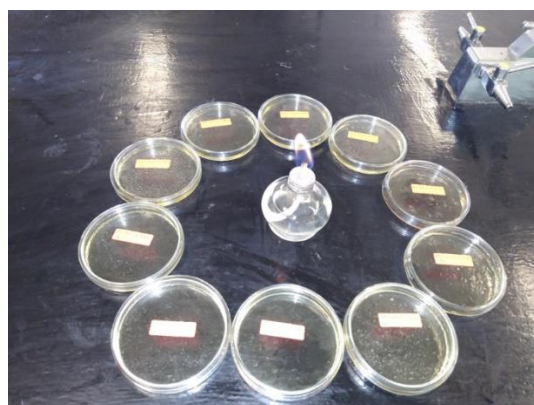


Figura 1. Medios de cultivo se realizaron con el agar MRS broth (Difco™ BD, Sparks, Maryland, EE.UU

Determinación de pH

Se calibró el potenciómetro, se colocó en un vaso de precipitado 3 mL de la muestra respectivamente, se lavaron los electrodos con varias porciones de agua destilada y se sumergieron los electrodos en el vaso de precipitado que contiene la muestra y se leyó directamente el valor de pH. Esto se realizó por triplicado. Guiándose con la norma NOM-F-317-S-1978 [10].

Determinación de acidez titulable

Se colocaron 20 mL de la muestra en un matraz Erlenmeyer de 100 mL, se adicionaron 3 gotas de la solución de fenolftaleína con un gotero y agitar. En una bureta de 25 mL titular con la solución de Hidróxido de sodio al 0.1 N. Se agregaron a la solución de hidróxido de sodio de gota en gota a la muestra abriendo la válvula de la bureta. La muestra debe de estar en agitación constante hasta que vire a un color rosado tenue, cuando se muestre la coloración se debe de cerrar la válvula, se registra los mL de hidróxido de sodio utilizados, se realizó todo por triplicado, basado en la norma NMX-F-102-S-1978 [11].

Medición de Color

Se colocaron 5 mL de muestra en un vidrio de reloj, se calibró el equipo de colorimetría Modelo WR10, el colorímetro Modelo WR10 se coloca sobre el lugar donde se quiere medir. El dispositivo realizo la medición, en la escala de reflectancia se determinarán los parámetros L, a y b en el sistema Hunter, este proceso se realiza 3 veces. Utilizando como referencia la norma NMX-F-116-SCFI-2012 [12].

Resultados y discusión

Es la salsa resultante de la molienda de varios ingredientes permitidos por la norma MX-F-377-1986 [13], que le proporcionen el sabor característico de una salsa tipo taquera las cuales contienen diferentes concentraciones de aceite (10, 15 y 25 %) donde se realizaron diferentes pruebas fisicoquímicas en diferentes tiempos para determinar si las condiciones son favorables para aplicar bacterias ácido-lácticas.



Figura 2. Salsas con los 3 tratamientos diferentes y blanco.

El comportamiento del cambio de pH que tuvo la salsa picante se puede observar en la tabla 2, mostrando durante 6 semanas, letras iguales no hay diferencia significativa entre los tratamientos con el contenido de aceite, pH y el blanco o control. Observando que, en los T2 y T3 durante la semana 0 y la 6, no se encontraron diferencias entre los tratamientos.

Las bacterias ácido-lácticas sobreviven hasta el pH 4.7 [7], conforme a la Tabla 2 el pH inicial está en el rango de 4 en los diferentes tratamientos variando solamente en los decimales y con el paso del tiempo las salsas se van fermentando y el porcentaje de acidez en las salsas va incrementando y cuando se realizó la última evaluación se observó que la muestra de la semana 6 del tratamiento del 25 % de aceite obtuvo el índice de mayor acidez, solo por unas milésimas a las otras muestras.

Tabla 2. Determinación de pH.

pH (%)	B	T 1	T 2	T 3
SEMANA 0	4.24± 0.01 ^b	4.210± 0.00 ^c	4.33±0.01 ^a	4.33± 0.005 ^a
SEMANA 4	3.75± 0.00 ^g	3.81±0.015 ^f	3.85±0.005 ^e	3.60±0.005 ^h
SEMANA 6	4.17± 0.005 ^d	3.57± 0.005 ⁱ	3.60±0.00 ^{hi}	3.61±0.01 ^h

Lozano [14], obtuvo que el pH inicial de todas las gelatinas se encuentra en un intervalo de 5.5 a 6.4 esto contribuye a que el microorganismo probiótico pueda sobrevivir e incluso tenga actividad metabólica fermentando los azúcares disponibles. Conforme se aumenta la concentración de jugo de pitaya; el pH tiende a disminuir esta disminución del pH está influida tanto por el tiempo de almacenamiento.

Por otro lado, Rodríguez [18], menciona que el pH es determinante para que los alimentos duren más tiempo y a su vez, a pH's muy bajos (1.5 y 2.0), las bacterias ácidas lácticas disminuyen su viabilidad.

Determinación de acidez titulable

El porcentaje de acidez, Tabla 3 de la semana 0 a la semana 6 mostraron diferencias significativas, donde se observó que la muestra 1 y 3, son las que tienen el rango mayor inicial de porcentaje de acidez y a la vez que la

salsa se va fermentando con el paso del tiempo el porcentaje va incrementando y cuando se realizó la última evaluación se observó que las muestra 2 y 3 son las que contienen mayor porcentaje de acidez.

Cárdenas [15], observó que el comportamiento de acidez es indirectamente proporcional al del pH, presenta el porcentaje de acidez para las muestras analizadas a diferentes temperaturas y tiempo de almacenamiento tuvo una leve variación, estos cambios pueden evitar el crecimiento de microorganismos que alteran el producto. La acidez disminuye en las muestras desde 1.14 ± 0.05 hasta 0.97 ± 0.006 % a diferentes temperaturas en un lapso de 21 días

Tabla 3. Determinación de acidez titulable.

ACIDEZ (%)	B	T 1	T 2	T 3
SEMANA 0	0.6000 ± 0.0000^g	0.4000 ± 0.0000^h	0.6000 ± 0.0000^g	0.4667 ± 0.0577^{gh}
SEMANA 4	1.4667 ± 0.0577^d	0.9333 ± 0.0577^f	1.1667 ± 0.0577^e	1.100 ± 0.0000^{ef}
SEMANA 6	2.2000 ± 0.1000^c	3.1667 ± 0.0577^b	3.5000 ± 0.1000^a	3.5333 ± 0.0577^a

Medición de Color

El color en las muestras Tabla 4 presentó variaciones significativas en los parámetros evaluados, ya que en los parámetros de L de las muestras significa que son relativamente oscuras, mientras que en los parámetros de a los signos negativos indican que el color de las muestras estará en el rango verde. Por otro lado, con los de b los signos negativos significan su cercanía muestran al color azul, letras diferentes hay diferencia significativa entre los tratamientos con respecto al blanco.

Ramírez [16] empleó el espacio de color $L^*a^*b^*$ (CIELAB) obtuvo que para el valor de luminosidad (L^*) en cada grupo de muestras se presentaron diferencias significativas. Las salsas análogas mostraron valores de L^* elevados, es decir que, las muestras análogas respecto de las salsas de tomate cátsup son más brillantes. Analizando la coordenada a^* cuyos valores se asocian al color rojo-verde, las muestras análogas tuvieron valores similares dentro del mismo grupo y diferente al resto de las muestras analizadas.

Montoya [17] menciona que el color en frutos verdes y rojos presenta variaciones muy marcadas en los variables evaluadas, principalmente en a^* y un cambio ligero en L^* ; mientras que b^* permanece constante. El cambio más drástico se observa en a^* , en donde cambia de negativo, valor que caracteriza al color verde, hasta positivo, en donde se denota el color rojo. L^* , disminuye en chiltepín rojo lo cual indica una menor luminosidad en el color de frutos fisiológicamente maduros. Es importante resaltar que en la escala del amarillo-azul, lo cual es representado por b^* , los valores encontrados para el chiltepín verde se ubican en el amarillo; no mostro cambio con respecto al chiltepín rojo.

Tabla 4. Determinación de color.

COLOR (%)	MUESTRAS	L	a	b
SEMANA 0	B	17.56 ± 13.29^a	4.48 ± 0.03^a	3.11 ± 0.05^a
	M1	25.12 ± 0.01^a	-4.38 ± 0.11^c	2.89 ± 0.03^b
	M2	25.09 ± 0.08^a	-4.29 ± 0.04^c	2.64 ± 0.22^b
	M3	25.04 ± 0.02^a	-4.34 ± 0.03^c	2.48 ± 0.03^b
SEMANA 4	B	16.89 ± 5.28^a	-0.62 ± 2.26^a	9.79 ± 14.91^a
	M1	23.67 ± 11.70^a	1.10 ± 0.964^b	8.22 ± 8.97^{ab}
	M2	16.74 ± 1.74^a	0.64 ± 0.16^b	3.28 ± 1.84^b

SEMANA 6	M3	23.62±13.58 ^a	1.003±0.9 ^a	9.58±11.99 ^a
	B	16.18±3.23 ^a	0.50±0.16 ^b	3.16±3.43 ^b
	M1	21.18±8.23 ^a	0.97±0.63 ^b	7.69±8.71 ^{ab}
	M2	20.97±8.09 ^a	0.63±0.07 ^b	7.79±8.17 ^{ab}
	M3	19.51±9.27 ^a	0.61±0.35 ^a	7.59±10.67 ^a

Trabajo a futuro

A partir de estos resultados se espera continuar con los estudios de vida de anaquel de los productos, así como las pruebas de análisis sensorial y viabilidad microbiana.

Conclusiones

Durante el almacenamiento y conservación de un alimento es importante controlar parámetros para que el consumidor lo detecte agradable (pH, acidez titulable, sabor, color entre otros), a su vez, las bacterias ácido lácticas deban conservarse con poblaciones importantes 10^9 UFC mL o g, es necesario protegerlas de los diferentes factores en los cuales están inmersas, es por ello que la encapsulación ayudaría a su viabilidad y dar un beneficio al hospedador. Por otra parte, protegerlas y que la matriz donde están inmovilizadas sirvan como protección.

Agradecimientos

Se agradece a la M.C. Adelfo García-Ceja, docente del Tecnológico Nacional de México, Campus Venustiano Carranza para la realización del presente proyecto, así como su valiosa asesoría durante la estancia del verano Delfín.

Referencias

- [1] E. E. Luard, *Cocina latinoamericana*. Barcelona: Blume, 2005.
- [2] P. P. Gayler, "Salsas de todo el mundo". Retrieved from Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Barcelona, España: Elfos, S.L.. 2009. Obtenido de http://www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com_content&view=article&id=502%3Aen-ecuador-se-produce-mas-carne-de-cerdo&catid=68%253-Aboletines&Itemid=51&lang=es
- [3] <http://www.purac.com>
- [4] F. Almanza y E. Barrera. *Tecnología de leche y derivados*, Bogotá Unisur, 1991
- [5] S. Bedolla, *Introducción a la Tecnología de los Alimentos*. Ed. México: Limusa, 2004.
- [6] L. Axelsson, *Lactic acid bacteria: Classification and physiology*, En: Salmminen S, Von Wright A, Ouwenhand A, editores. *Lactic acid bacteria, microbiology and functional aspects*. 3^a ed. Nueva York: Marcel Dekke, 1993.
- [7] M. García, S. Revah y L. Gómez, *Productos lácteos. En Biotecnología alimentaria*, México: Limusa Noriega Editores, 1998.
- [8] M. Jay, *Modern food microbiology*. 6th edition, Aspen publication, Gaithersburg: Maryland, USA, 2000.
- [9] L. Settanni, G. Moschetti, " Non-starter lactic acid bacteria used to improve cheese quality and provide health benefits" *FM*, vol. 27, no. 6 pp. 691 , Septiembre, 2010.
- [10] *Determinación de pH en Alimentos*, NOM-F-317-S-1978.
- [11] *Determinación de la acidez titulable en productos elaborados a partir de frutas y hortalizas*, NMX-F-102-S-1978.

- [12] *Determinación de color método de prueba*, NMX-F-116-SCFI-2012.
- [13] *Alimentos Regionales, salsa picante envasadas*, MX-F-377-1986.
- [14] C. Lozano, "Estudio de la viabilidad de *Lactobacillus casei* Shirota en una gelatina de pitaya (*Stenocereus griseus* H.)." Tesis de maestría, IPN, México, Df, 2011.
- [15] D. Cárdenas, "Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y de estabilidad de una salsa de fruta con inclusión de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*)," Tesis de Ingeniería, Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería Ingeniería de alimentos, UNAD, Bogota, Colombia, 2020.
- [16] R. Ramirez, J. Salazar y A. García."Estudio comparativo de la calidad en salsa de tomate (cátsup) por medio de técnicas instrumentales". *JC*, vol. 4, no. 1, pp. 75,2018.
- [17] B. Montoya. "Revista Mexicana de Ingeniería Química". 2010. Redalyc.org. Sitio web: <https://www.redalyc.org/pdf/620/62016248008.pdf>
- [18] Y. Rodríguez, A. Rojas y S. Rodríguez." Encapsulación de probióticos para aplicaciones alimenticias". *R B*, vol. 15, no. 2, pp. 106, Julio 2016.

EFFECTO DE LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO Y MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE LÍPIDOS APLICADOS EN *Pichia kudriavzevii*

I. Mena Vazquez¹, B. Gutiérrez Rivera^{1*}, L. A. Ortega Clemente^{2*}, A. L. Vázquez Larios¹, P. N. Robledo Narváez¹

¹TecNM-Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca/ Prol. Av. Veracruz s/n esq. Héroes de Puebla, Col Pemex, Tierra Blanca, Veracruz, México. C.P. 95180, ^{1*}beatriz.gutierrez@itstb.edu.mx, ²TecNM/Instituto Tecnológico de Boca del Río, Carr. Veracruz-Córdoba Km. 12, Boca del Río, Veracruz, México, C.P. 94290, ^{2*}luisortega@bdelrio.tecnm.mx.

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Algunas especies de levaduras son consideradas como una fuente de obtención de lípidos, la producción de estos varía de acuerdo a la relación Carbono/Nitrógeno que se encuentre en el medio de cultivo [1], sin embargo, la selección del método de extracción es esencial para la recuperación de los ácidos grasos [2]. El objetivo de este trabajo fue evaluar tres relaciones Carbono/ Nitrógeno (1:3, 4:1 y 5:1) y dos métodos de extracción (Soxhlet y ultrasonido), aplicados en la levadura *Pichia kudriavzevii* con la finalidad de evaluar el mayor rendimiento de producción y extracción de biolípidos. La mayor producción de lípidos se obtuvo con la relación C/N 4:1 y el mejor método de extracción fue ultrasonido con un rendimiento de 86.32 ± 0.044 % y una producción de 5.76 ± 0.0214 gL⁻¹.

Palabras clave: Levadura, Lípidos, Ácidos grasos, Extracción, Soxhlet, Ultrasonido

Abstract

Some species of yeast are considered as a source of obtaining lipids, their production varies according to the Carbon/Nitrogen ratio found in the culture medium [1], however, the selection of the extraction method is essential for the recovery of fatty acids [2]. The objective of this work was to evaluate three Carbon/Nitrogen ratios (1:3, 4:1 and 5:1) and two extraction methods (Soxhlet and ultrasound), applied to the yeast *Pichia kudriavzevii* in order to evaluate the highest yield production and extraction of biolipids. The highest lipid production was obtained with the C/N ratio 4:1 and the best extraction method was ultrasound with a yield of $86.32 \pm 0.044\%$ and a production of 5.76 ± 0.0214 gL⁻¹.

Keywords: Yeast, Lipids, Fatty acids, Extraction, Soxhlet, Ultrasound

Introducción

El rápido incremento de la probación, el cambio climático y la creciente disminución de los recursos naturales, son algunas de las preocupaciones actuales que han impulsado colectivamente la búsqueda de nuevas fuentes de energía, así como sustituir los productos petroquímicos por compuestos que sean más amigables con el medio ambiente. En los últimos años los lípidos microbianos obtenidos de hongos, microalgas y levaduras, han llamado la atención, debido a su similitud en composición a los aceites y grasas de plantas o animales [3].

Las levaduras resultan ventajosas debido a que poseen características como: cortos tiempos de crecimiento; el cual es micelial multicelular, tiempos de reproducción cortos; debido a que son asexuales, capacidad de crecer en una amplia gama de sustratos y fuentes de Carbono, independientemente de la exposición a la luz. Sin embargo, la acumulación de lípidos en levaduras no es una característica constitutiva [4], si no una respuesta adaptativa a factores particulares, como limitaciones de Nitrógeno y la presencia un alto contenido de azúcares en los medios, los cuales influirán en la producción de lípidos [5], el rendimiento de la síntesis lipídica depende de la presencia de nutrientes en el medio de cultivo para atender la demanda nutricional del microorganismo [6]. La composición nutricional es un parámetro importante para la producción de lípidos, pues una vez que existe un desequilibrio entre los componentes nutricionales, es decir, cuando la célula agota un nutriente clave, usualmente el Nitrógeno, la asimilación de la fuente de Carbono en exceso es destinada para la producción de lípidos [7].

La levadura *Pichia kudriavzevii* es capaz de acumular más del 20 % de lípidos, utilizando una relación de Carbono/Nitrógeno en condiciones estrictas. Cabe mencionar que la levadura *Pichia kudriavzevii* consume

glucosa, sacarosa, galactosa, lactosa y xilosa, como fuente de carbono, lo cual es una ventaja, para evaluar su capacidad de crecimiento en diversos medios, estos azúcares están presentes en varios sustratos de desecho baratos como suero, hidrolizados de biomasa y melaza de desecho [11]. Por otro lado, posee una pared celular compuesta principalmente de polisacáridos y quitina, lo cual la vuelve dura y poco permeable [12], haciendo de esta forma difícil la extracción de lípidos mediante solventes, obteniendo bajos rendimientos, por lo que es importante la búsqueda de nuevos métodos de extracción de lípidos aplicados para levaduras [13].

La técnica de ultrasonido se basa en la cavitación acústica, cuando las levaduras son expuestas a este fenómeno, provoca una serie de cambios alternos de presión y la formación de fenómenos de expansión y colapso explosivo de las microburbujas de los líquidos que se encuentran dentro de las células, fenómeno conocido como cavitación acústica [14], lo cual, da como resultado un microchorro que genera varios efectos como pelado de la superficie, erosión, ruptura de las células y organelos, provocado por los cambios de temperatura y presión [15], los cuales ayudan a el adelgazamiento de las membranas y pared celular de las levaduras [16], generando una mayor penetración de los disolventes, obteniendo mayores rendimientos de extracción de lípidos, debido a la liberación de aquellos que se encuentran en los organelos como los lípidos polares (fosfolípidos y glicolípidos) y lípidos no polares que se almacenan dentro de las células [17].

Metodología

Medio de fermentación

La cepa *Pichia kudriavzevii* con clave ITSTB-1, levadura aislada de caña de azúcar de la región de Tierra Blanca, Ver., fue proporcionada en el Laboratorio de Microbiología del Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz. Se activo en medio sintético compuesto por 15 gL⁻¹ Glucosa (C₆H₁₂O₆), 5 gL⁻¹ Xilosa (C₅H₁₀O₅), 10 gL⁻¹ Extracto de levadura y 25 gL⁻¹ Agar, en cajas Petri. Las condiciones de crecimiento fueron temperatura de 30 ±1 °C, incubada por 24 h, de acuerdo a lo propuesto por [10].

Las cinéticas de fermentación fueron realizadas en diferentes relaciones Carbono/Nitrógeno para los medios de cultivo. Para la relación C/N 1:3 se empleó: 2 gL⁻¹ Extracto de levadura, 5 gL⁻¹ Sulfato de potasio (K₂SO₄), 3 gL⁻¹ Fosfato de amonio (NH₄H₂PO₄), 1 gL⁻¹ Fosfato de magnesio (Mg₃(PO₄)₂), 5 gL⁻¹ Xilosa (C₅H₁₀O₅) y 20 gL⁻¹ Glucosa (C₆H₁₂O₆). En el caso de relación C/N 4:1 la composición fue de: 5 gL⁻¹ Extracto de levadura, 3 gL⁻¹ Extracto de malta, 5 gL⁻¹ Peptona, 1 gL⁻¹ Fosfato de potasio (KH₂PO₄), 0.5 gL⁻¹ Sulfato de magnesio (MnSO₄), 20 gL⁻¹ Glucosa (C₆H₁₂O₆), 5 gL Xilosa (C₅H₁₀O₅) y 55 gL Glicerol (C₃H₈O₃). El medio con la relación C/N 5:1 consistió de: 7.5 gL Extracto de levadura, 1.5 gL⁻¹ Sulfato de magnesio (MgSO₄), 3 gL⁻¹ Fosfato de potasio (KH₂PO₄), 2 gL⁻¹ Sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄) y 66.2 gL⁻¹ Glucosa (C₆H₁₂O₆), de acuerdo a lo propuesto por [8], [9] y [10] respectivamente.

Se emplearon Matraces Erlenmeyer de 250 mL para contener el medio de fermentación, los cuales fueron esterilizados en autoclave a 121 °C durante 15 min, con una densidad celular inicial de los cultivos de 1x10⁶ cel mL⁻¹ de la levadura *Pichia Kudriavzevii*. Para su crecimiento se utilizó una agitadora (New Brunswick™ Innova @43/43R Shaker) con agitación orbital a 160 ±1 RPM a una temperatura de 30 ±1 °C por 96 horas.

Extracción lipídica por método Soxhlet

Los matraces de extracción se sometieron a sequedad durante 24 horas a 60 °C hasta peso constante. Colocándose 2 g de biomasa seca dentro de un dedal de extracción y se introdujo en la campana extractora. Se vertieron 100 mL de la mezcla de cloroformo/metanol (2:1 v/v) en el balón recolector y durante la extracción se mantuvo la temperatura a 60 °C y una velocidad de goteo constante durante 7 reflujos. Posteriormente, se realizó el secado del matraz con los lípidos en incubadora a 60 °C durante 24 horas, método modificado de [9]:

Los cálculos para conocer la cantidad de lípidos extraídos se muestran en la ecuación (Ec. 1)

Ec. 1

$$\% \text{ Grasa cruda: } \frac{\text{Peso del matraz con aceite} - \text{Tara del matraz solo}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Extracción lipídica por método Ultrasónico

La biomasa de *Pichia kudriavzevii*, se lavó tres veces con agua destilada para eliminar las sales del medio. En un cristalizador se colocaron 2 g de biomasa húmeda y se mezcló con cloroformo: metanol (2:1; v/v). La mezcla se llevó a baño de hielo con la finalidad de evitar el sobrecalentamiento y, posteriormente se expuso al equipo ultrasónico (Mxmoonant) a 25 kHz, y 650 W, aplicando las condiciones de extracción de 100% de potencia y 30 min de trabajo continuo y 3 minutos de descanso (Figura 1). La mezcla de cloroformo:metanol-lípidos, se agitó en vortex por 15 minutos y se llevó a centrifugación a 3500 rpm por 10 min, transfiriendo la fase acuosa a un tubo de ensaye. Posteriormente se realizó un segundo lavado a la biomasa, agregando 10 mL de Hexano y se llevó a agitación vortex por 5 minutos, la biomasa se desechó y el solvente se colocó en un tubo de ensayo que contenía la mezcla de solventes del lavado anterior, la muestra se llevó a evaporación a 60 °C hasta peso constante, método modificado de [1], [5], [8].

El rendimiento de lípidos extraídos se realizó con la siguiente ecuación (Ec. 2)

Ec. 2

$$\% \text{ Lípidos extraídos: } \frac{\text{Peso del tubo con aceite} - \text{Tara del tubo solo}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$



Figura 1. Homogeneizador ultrasónico, marca Baoshishan.

Diseño experimental

En la evaluación, se empleó un diseño de experimentos factorial completo general 3x2 con tres replicas para cada experimento. Se evaluaron tres relaciones Carbono/Nitrógeno (C/N): 1:3, 4:1 y 5:1, y dos métodos de extracción: Soxhlet y ultrasonido, aplicados en la levadura *Pichia kudriavzevii* (Tabla 1). Los detalles del diseño de experimentos, así como el número de corridas experimentales desarrolladas y variables de respuesta, extracción de lípidos % y rendimiento de producción gL⁻¹ se muestran en la Tabla 2

Tabla 1. Factores y niveles del diseño experimental factorial 3x2 para la evaluación de la relación Carbono/Nitrógeno y métodos de extracción para *Pichia kudriavzevii*.

Factores	Niveles
Medios (C/N)	1:3
	4:1
	5:1
Método de extracción	Soxhlet Ultrasonido

Tabla 2. Detalles del diseño, numero de corridas experimentales desarrolladas, Factores y variables de respuesta analizadas.

OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	Medios (C/N)	Método de Extracción	Variables de respuesta
6	1	1	1	5:1	Ultrasónico	Lípidos % Producción gL ⁻¹
17	2	1	1	5:1	Soxhlet	
4	3	1	1	4:1	Ultrasónico	
1	4	1	1	1:3	Soxhlet	
7	5	1	1	1:3	Soxhlet	
5	6	1	1	5:1	Soxhlet	
12	7	1	1	5:1	Ultrasónico	
10	8	1	1	4:1	Ultrasónico	
2	9	1	1	1:3	Ultrasónico	
15	10	1	1	4:1	Soxhlet	
8	11	1	1	1:3	Ultrasónico	
14	12	1	1	1:3	Ultrasónico	
11	13	1	1	5:1	Soxhlet	
16	14	1	1	4:1	Ultrasónico	
9	15	1	1	4:1	Soxhlet	
13	16	1	1	1:3	Soxhlet	
18	17	1	1	5:1	Ultrasónico	

Resultados y discusión

Evaluación de medios (C/N) y métodos de extracción de lípidos para *Pichia kudriavzevii*.

Los resultados obtenidos de los tratamientos se analizaron con el programa estadístico Minitab, con la finalidad de determinar el efecto de cada uno de los factores y establecer las mejores condiciones de producción y extracción de lípidos en % de la levadura *Pichia kudriavzevii*. De acuerdo con el análisis de la varianza (Tabla 3), con un nivel de confianza del 95%, el factor Medios (C/N) obtuvo una p-value de 0.0004, en el caso del método de extracción se obtuvo una p-value de 0.0001 siendo el factor que mayor efecto interfiere y, para la interacción de los dos factores p-value fue de 0.0015, existiendo diferencias significativas entre los tratamientos considerando un valor de $p < 0.05$; así mismo, se obtuvo un coeficiente de correlación de 99 %.

Tabla 3. Análisis de Varianza del diseño de experimentos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Medios (C/N)	2	206241	1031232	35730096.84	0.0004
Método de Extracción	1	937363	937363	32477730.90	0.0001
Interacciones de 2 términos	2	342250	171125	5929126.25	0.0015
Error	12	0.00003	0.00002		
Total	17	3342078			

De acuerdo con la gráfica de interacción (Figura 2), el mayor rendimiento de lípidos se produce aplicando la relación Carbono/Nitrógeno 4:1, mientras que la relación Carbono/Nitrógeno 5:1 obtuvo el valor menor. Con respecto al método de extracción, el ultrasonido logra un mayor rendimiento de lípidos en comparación con el método Soxhlet. Resultado que se corrobora con lo mencionado por Patel *et al.*, (2019) afirmando que la

ultrasonicación trabaja principalmente sobre el fenómeno de cavitación, permitiendo que las microburbujas generen presión sobre la membrana y la pared celular para romper las levaduras, de esta forma los solventes logran un mayor contacto y aumenta la extracción de lípidos.

En la gráfica de superficie de respuesta (Figura 3), se muestra que la relación Carbono/Nitrógeno 4:1 en combinación con el método de extracción por ultrasonido, presentó el mayor rendimiento de lípidos con un 86.32 ± 0.044 %. En el trabajo de Burgstaller *et al.*, (2022), aplicaron la misma relación Carbono/Nitrógeno 4:1 y el método de extracción Bligh & Dyery, obteniendo un rendimiento de 29.3 % de lípidos con la levadura *Pichia kudriavzevii*. Este rendimiento es bajo en comparación con el de este trabajo, debido probablemente a que en los trabajos anteriores se aplicó biomasa de *Pichia kudriavzevii* seca, lo que pudo dificultar la interacción de los solventes y por ello, derivar en bajos rendimientos de lípidos [2].

Por otro lado, Zhang *et al.*, (2022) aplicaron la relación Carbono/Nitrógeno 1:3 y el método ultrasónico a 25 kHz por 15 min en la levadura *Pichia kudriavzevii*, obteniendo un rendimiento de extracción de lípidos del 7 %. Este valor fue menor que el obtenido en el presente trabajo (16.345 ± 0.024 % de lípidos), aplicando las condiciones de Carbono/Nitrógeno 1:3 y ultrasonido a 25 kHz y 30 min. Cabe mencionar, que el tiempo de extracción fue mayor, por lo que probablemente se benefició la ruptura de la pared celular, obteniendo un mejor rendimiento de extracción de lípidos de la levadura.

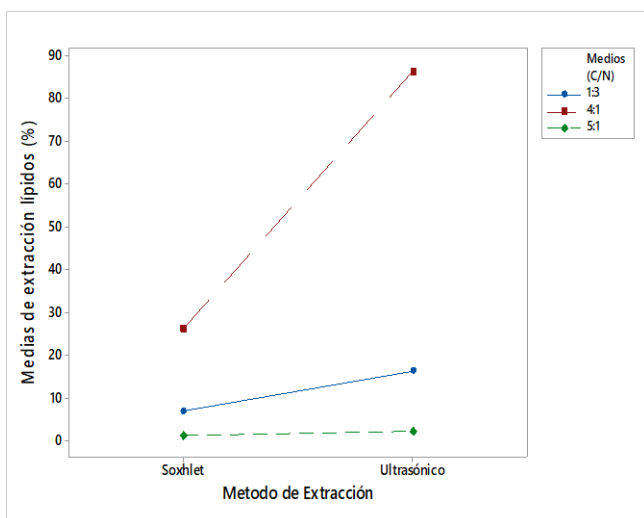


Figura 2. Interacción para la extracción de lípidos en %, aplicando la relación carbono/nitrógeno y los métodos de extracción.

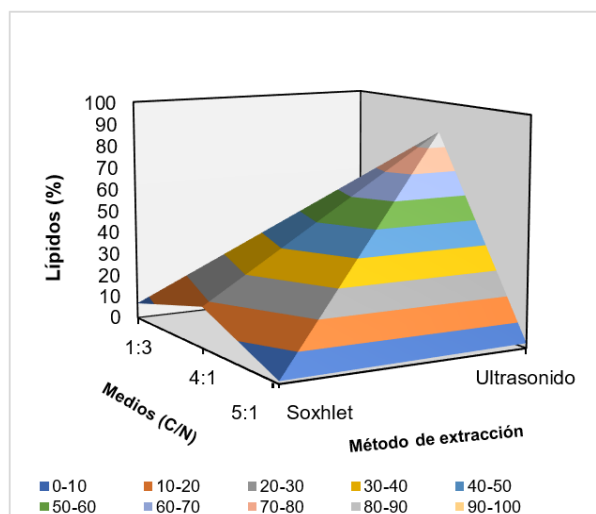


Figura 3. Superficie de respuesta para extracción de lípidos en %, a partir de la relación carbono/nitrógeno y los métodos de extracción.

Evaluación de la relación Carbono/Nitrógeno (C/N) para la producción de lípidos de *Pichia kudriavzevii*

La relación C/N que presentó el mayor rendimiento de lípidos en la levadura *Pichia kudriavzevii* fue 4:1, seguido de la relación 3:1, y finalmente la relación 5:1, de acuerdo con la gráfica de efectos principales (Figura 4). Saran *et al.*, (2017) mencionan que la acumulación de lípidos ocurre cuando hay una de fuente nitrógeno limitada y presencia de fuentes de carbono en cantidades suficientes y, las células se encuentran con un agotamiento de nutrientes como el nitrógeno. El exceso de carbono en el medio de cultivo se convierte en lípidos celulares en las levaduras *Candida zeylanoides*, *Lipomyces starkeyi*, *Rhodospiridium toruloides*, *Rhodotorula glutinis* y *Pichia kudriavzevii*.

El gráfico de superficie de respuesta (Figura 5), muestra la variación de rendimientos al aplicar el método de extracción Soxhlet con diferentes relaciones Carbono/Nitrógeno 1:3, 5:1 y 4:1 y obteniendo 0.54 ± 0.0154 , 0.08 ± 0.1562 y 1.79 ± 0.0038 gL⁻¹ de lípidos respectivamente, correspondiendo la relación 4:1 al mejor rendimiento obtenido. Qin *et al.*, (2017), mencionan que la pared celular de las levaduras está compuesta principalmente de

polisacáridos, glucano, manano y proteínas, lo que favorece su endurecimiento y baja permeabilidad, haciendo difícil la extracción de lípidos, debido a la poca interacción de los solventes con los cuerpos lipídicos.

Por otro lado, al aplicar las relaciones Carbono/Nitrógeno 1:3, 5:1 y 4:1 con el método de extracción ultrasónico, se incrementaron los rendimientos de lípidos a 1.22 ± 0.0291 , 0.15 ± 0.0571 y 5.76 ± 0.0214 gL^{-1} respectivamente. En este sentido, Patel *et al.*, (2019) mencionan que las levaduras son células de gran tamaño y una estructura de pared celular única, lo que facilita la ruptura empleando ondas cavitatorias con ultrasonidos de baja y alta frecuencia, en comparación con las microalgas y bacterias, en las cuales solo se puede emplear ultrasonidos de alta frecuencia debido al menor tamaño de sus células. Por otro lado, Bettencourt *et al.*, (2020), evaluaron *Pichia kudriavzevii* V194 en medio 4:1 y obtuvieron 2.5 ± 0.1 gL^{-1} de lípidos, aplicando el método de extracción Foch. En este trabajo, el método ultrasónico y la relación Carbono/Nitrógeno 4:1 presentaron un mayor rendimiento de lípidos (5.76 gL^{-1}). Cabe mencionar que el método Foch, se basa en la extracción de lípidos mediante lavados de biomasa de levadura aplicando solventes, sin el rompimiento de la pared celular o algún tratamiento que influya en la liberación de lípidos que se encuentran dentro de las células de *Pichia kudriavzevii*, por lo que se pueden obtener rendimientos bajos de lípidos.

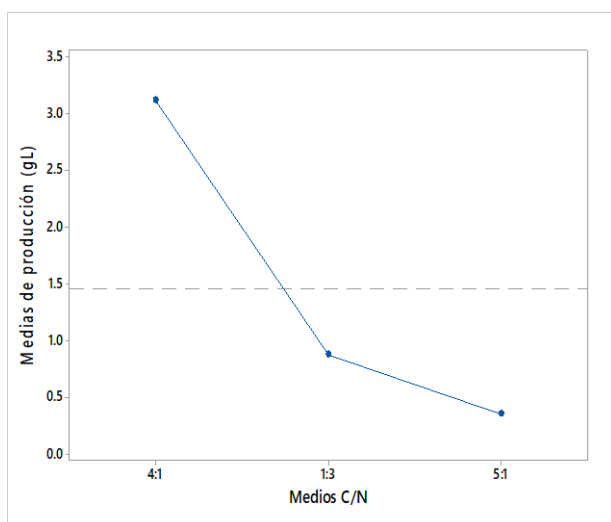


Figura 4. Efectos principales para la producción de lípidos de acuerdo a la relación Carbono/Nitrógeno.

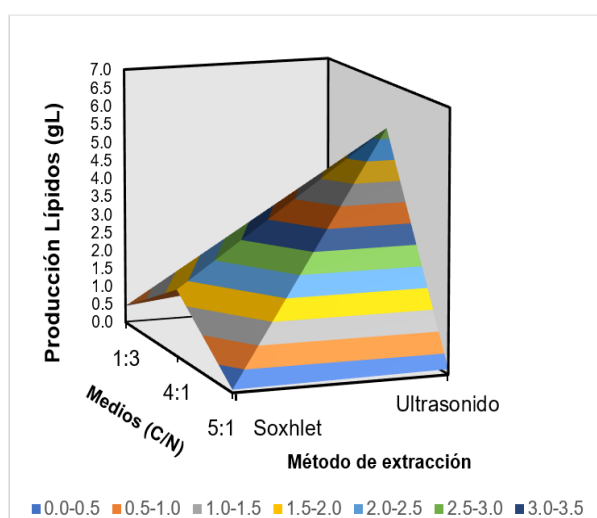


Figura 5. Superficie de respuesta, aplicando diferentes relaciones C/N y método de extracción para producción de lípidos.

Trabajo a futuro

Para determinar la aplicación de los lípidos extraídos de la levadura *Pichia kudriavzevii*, es necesario realizar el perfil de los ácidos grasos en cromatografía de gases, con la finalidad de obtener información sobre la futura aplicación, como pueden ser alcoholes grasos, biodiesel, aceite motor o en el área de alimentos. De igual forma, realizar la búsqueda de nuevas fuentes de carbono para el crecimiento de la levadura; así como encontrar aplicaciones a la biomasa de *Pichia kudriavzevii* después de la extracción de lípidos.

Conclusiones

La producción de lípidos en la levadura *Pichia kudriavzevii* se incrementa aplicando la relación Carbono/Nitrógeno 4:1, en comparación con las relaciones Carbono/Nitrógeno 1:3 y 5:1. Por otro lado, el método de extracción por ultrasonido mejora la extracción de lípidos hasta en un 78 % en comparación con el método Soxhlet al aplicar la mejor condición Carbono/Nitrógeno. Cabe resaltar, que el empleo de concentraciones específicas de carbono genera menos desechos de azúcares después de la cinética de fermentación. De igual forma, el método de ultrasonido no requiere de un proceso previo de secado de biomasa, disminuyendo gastos durante el proceso; así como un menor volumen de solventes, en comparación con las técnicas de extracción Soxhlet, Foch y Bligh-Dyer, que además emplean tiempos de extracción largos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada al estudiante con número 1102626, al Laboratorio de Biotecnología de Microalgas del ITBoca y Laboratorio de Microbiología del ITSTB del Tecnológico Nacional de México.

Referencias

- [1] A. Patel, N. Arora, V. Pruthi and P. A. Pruthi, "A novel rapid ultrasonication-microwave treatment for total lipid extraction from wet oleaginous yeast biomass for sustainable biodiesel production", *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 51, pp. 504-516, 2019.
- [2] H. W. Yen and J.T. Chang, "Growth of oleaginous *Rhodotorula glutinis* in an internal-loop airlift bioreactor by using lignocellulosic biomass hydrolysate as the carbon source", *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Vol. 119, no. 5, pp 580-584, 2017
- [3] L. Burgstaller, S. Löffler, L. D. Marcellis, K. Ghassemi and M. Neureiter, "The influence of different carbon sources on growth and single cell oil production in oleaginous yeasts *Apiotrichum brassicae* and *Pichia kudriavzevii*", *New Biotechnology*, Vol. 69, pp.1-7, 2022.
- [4] L. Qin, L. Liu, A. P. Zeng and D. Wei, "From low-cost substrates to Single Cell Oils synthesized by oleaginous yeasts", *Bioresource Technology*, Vol. 245, Part B, pp. 1507-1519, 2017.
- [5] L. Zhang, J. T.E. Lee, Y. S. Ok, Y. Dai and Y. W. Tong, "Enhancing microbial lipids yield for biodiesel production by oleaginous yeast *Lipomyces starkeyi* fermentation: A review", *Bioresource Technology*, Vol. 344, Part B, 2022.
- [6] M. Terremie, H. Samadlouie and S. Gharanjik, "A statistical approach for the production of lipid, biomass, and phenolic from a newly isolated *Pichia Kudriavzevii* strain from Caspian Sea fish". *Biological Journal of Microorganism*, Vol. 23, no. 8, pp. 153-163, 2020.
- [7] S. Bettencourt, C. Miranda, T. A. Pozdniakova, P. Sampaio, R. F. Duarte, and C. Pais, H. Matsuyama, H. Yano, T. Maki, M. Teramoto, K. Mishima, and K. Matsuyama, "Single Cell Oil Production by Oleaginous Yeasts Grown in Synthetic and Waste-Derived Volatile Fatty Acids", *Microorganisms*, Vol. 8, pp. 1809, 2020.
- [8] S. Saran, A. Mathur, J. Dalal and R.K. Saxena, "Process optimization for cultivation and oil accumulation in an oleaginous yeast *Rhodospiridium toruloides* A29", *Fuel*, Vol. 188, pp. 324-331, 2017.
- [9] S. Santosh, M. Thiru, S. Saran, and V. Rangaswamy, (2013). "Biodiesel production from a newly isolated *Pichia kudriavzevii* strain". *FUEL*, Vol. 106 pp. 690-696, 2017.
- [10] S. N. Sarabaa, C. B. B. Cesattia, G. M. Lalanee, E. C. Urbinaa and L. M. Barreraa, "Isolation, identification, and kinetic and thermodynamic characterization of a *Pichia kudriavzevii* yeast strain capable of fermentation" *Food and Bioproducts Processing*, Vol.131, pp. 109-124, 2022.
- [11] X. Zou, K. Xu, W. Chang, Y. Qu and Y. Li, "Rapid extraction of lipid from wet microalgae biomass by a novel buoyant beads and ultrasound assisted solvent extraction method," *Algal Research*, vol. 58, p. 102431, 2021.
- [12] M. Escorsim, G. da Rocha, J. V. Vargas, A. B. Mariano, L. P. Ramos, M. L. Corazza and C. S. Cordeiro, "Extraction of *Acutodesmus obliquus* lipids using a mixture of ethanol and hexane as solvent," *Biomass and Bioenergy*, vol. 108, pp. 470-478, 2018.
- [13] R. R. dos Santos, D. M. Moreira, C. N. Kunigami, D. A. G. Aranda and C. M. L. L. Teixeira, "Comparison between several methods of total lipid extraction from *Chlorella vulgaris* biomass," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 22, pp. 95-99, 2015.

- [14] F. Adam, M. Abert-Vian, G. Peltier and F. Chemat, ""Solvent-free" ultrasound-assisted extraction of lipids from fresh microalgae cells: A green, clean and scalable process," *Bioresource Technology*, vol. 114, pp. 457-465, 2012.
- [15] C. R. Ellison, S. Overa and D. Boldor, "Central composite design parameterization of microalgae/cyanobacteria coculture pretreatment for enhanced lipid extraction using an external clampon ultrasonic transducer," *Ultrasonics - Sonochemistry*, vol. 51, pp. 496-503, 2019.
- [16] A. L. Ido, M. D. G. De Luna, S. C. Capareda, A. L. Maglinao and H. Nam, "Application of central composite design in the optimization of lipid yield from *Scenedesmus obliquus* microalgae by ultrasound-assisted solvent extraction," *Energy*, vol. 157, pp. 949-956, 2018.
- [17] Y.-A. Ma, Y.-M. Cheng, J.-W. Huang, J.-F. Jen, Y.-S. Huang and C.-C. Yu, "Effects of ultrasonic and microwave pretreatments on lipid extraction of microalgae," *Bioprocess and Biosystems Engineering*, vol. 37, p. 1543–1549, 2014.

Evaluación del compuesto 1,3-dimetilimidazolio ditiocarboxilato como inhibidor de corrosión en un acero 1018

C. C. Landero-Hernandez¹, M.G. Hernandez-Cruz¹, C. Encarnacion-Gomez¹, D.S. Garcia-Zaleta¹, J.M. Vazquez-Rodriguez. ¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez, Carr. Estatal Villahermosa-Comalcalco KM.27 S/N. Ranchería Ribera Alta, Jalpa de Méndez, 86205, Tabasco, México.
claulandero10@gmail.com, mguadalupe.hernandez@ujat.mx, cecilia.encarnacion@ujat.mx, David.garcia@ujat.mx, jose.vazquez@ujat.mx
Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En la presente contribución se presenta la evaluación electroquímica del compuesto orgánico azufrado 1,3 dimetilimidazolio ditiocarboxilato (IME), como posible inhibidor de la corrosión de un acero 1018 bajo carbono en medio ácido (H_2SO_4 - 1M). El compuesto IME se sintetizó químicamente a partir del yoduro de 1,3 dimetilimidazolio con disulfuro de carbono y se caracterizó mediante resonancia magnética nuclear (RMN). El daño superficial del acero posterior al ataque electroquímico se determinó a través de la pérdida de peso de la muestra de acero y de las imágenes obtenidas mediante microscopía óptica con y sin la adición del inhibidor. La capacidad de inhibición del IME se determinó mediante técnicas electroquímicas como polarización potenciodinámica (Tafel) y espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS). Los resultados indican que el uso del IME permite obtener un menor deterioro superficial del acero y una eficiencia hasta del 95% con una concentración de inhibidor de 600 ppm.

Palabras clave: 1,3 dimetilimidazolio ditiocarboxilato, inhibidor de corrosión, impedancia electroquímica.

Abstract

This contribution presents the electrochemical evaluation of the sulfur organic compound 1,3-dimethylimidazolium dithiocarboxylate (IME), as a possible corrosion inhibitor of a 1018 low carbon steel in acid medium (H_2SO_4 - 1M). The IME compound was chemically synthesized from 1,3-dimethylimidazolium iodide with carbon disulfide and characterized by nuclear magnetic resonance (NMR). The surface damage of the steel after the electrochemical etching was determined through the weight loss of the steel sample and images obtained by optical microscopy with and without the addition of the inhibitor. The inhibition capacity of EMI was determined by electrochemical techniques such as potentiodynamic polarization (Tafel) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). The results indicate that the use of IME allows obtaining a lower surface deterioration of the steel and an efficiency of up to 95% with an inhibitor concentration of 600 ppm.

Key words: 1,3-dimethylimidazolium dithiocarboxylate, corrosion inhibitor, electrochemical impedance.

Introducción

En términos generales, la corrosión es un proceso fisicoquímico que origina el desgaste superficial de metales y aleaciones, con una consecuente pérdida de sus propiedades [1]. La mayoría de estos materiales se encuentran expuestos a la atmósfera, o bien, a diferentes medios entre los que se puede encontrar sustancias ácidas, básicas, sales, etc. Estas sustancias, dependiendo de su naturaleza química, interactúan con los materiales y pueden incluso originar reacciones químicas de intercambio electrónico (reacciones redox), que eventualmente, pueden causar la pérdida de masa del metal expuesto [2]. El principal impacto que provoca la corrosión es económico, los gastos generados se incrementan de manera exponencial anualmente. Diversos estudios indican que la correcta aplicación de prácticas de control de la corrosión actualmente disponibles y las que se encuentran en constante proceso de mejora, permitirán ahorrar entre un 15 y un 35% de los gastos actuales. Sin embargo, estas cifras no incluyen los costes indirectos, como la pérdida de productividad debida a los cierres de carreteras, los posibles daños al medio ambiente o la pérdida de vidas humanas [3,4]. Diversas alternativas se han propuesto

para minimizar la corrosión, como es la adición de inhibidores. Estas sustancias químicas se agregan en pequeñas concentraciones al medio corrosivo y actúan en la interfase metal-solución para disminuir la velocidad de corrosión del material. Aunque el uso de inhibidores ha demostrado ser eficiente para prevenir la corrosión, en la actualidad se investigan varios tipos de sustancias que sean amigables con el medio ambiente. Entre los diversos métodos de control de la corrosión, el uso de compuestos orgánicos sintéticos es uno de los más rentables, fáciles de utilizar y eficaces [5]. Tal es el caso de los compuestos heterocíclicos (como los imidazoles), con grupos -OH, -NH₂, -OCH₃, -NHMe₂, -CN, NO₂, etc., y un alto grado de conjugación de electrones π no enlazantes provenientes de átomos como: >CHO, >CHN-, -C-N, -NHO-, -NHS-, -NHN-, y -C-C- etc, que actúan como centros de adsorción (ricos en electrones) durante la interacción con la superficie metálica [6]. Es precisamente la adsorción de los heterociclos sobre la superficie del metal lo que forma una película protectora [7]. Además, debido a su elevado momento dipolar, el imidazol y sus derivados son eficaces inhibidores de la corrosión, especialmente para el acero dulce y el acero al carbono en medios ácidos [5]. Por lo anterior, diversos estudios se han enfocado en evaluar los efectos anticorrosivos de los derivados de los imidazoles con y sin sustituyentes [8-10]. Asimismo, cualquiera que sea la forma de actuar de los inhibidores, lo que hacen todos es impedir el fenómeno de la corrosión a través de diferentes mecanismos, los cuales están siendo investigados desde hace más de tres décadas con la finalidad de diseñar inhibidores más eficientes [10]. Dado que los fenómenos de corrosión electroquímica constan de procesos, catódicos y anódicos, el estudio de la acción del inhibidor puede llevarse a cabo separadamente y comparar sus parámetros electroquímicos medidos en presencia y ausencia de inhibidor. Entre los métodos más utilizados actualmente se encuentra la polarización potenciodinámica y el trazado de las rectas de Tafel [11], así como, los métodos no estacionarios de estudio de la corrosión, específicamente espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS) [12]. De acuerdo con lo anterior, en el presente estudio se reporta la evaluación electroquímica del compuesto 1,3 dimetilimidazolio ditiocarboxilato (IME) mediante técnicas como TAFEL y EIS.

Metodología

Síntesis de 1,3 dimetilimidazolio ditiocarboxilato (IME)

Para la síntesis del compuesto orgánico IME, primero se obtuvo el precursor NHC a partir del 1-metilimidazol y yoduro de metilo. Subsecuentemente, el precursor se hizo reaccionar con la sal de ter-butóxido de potasio y disulfuro de carbono bajo las condiciones de reacción descritas en la Figura 1 [13].

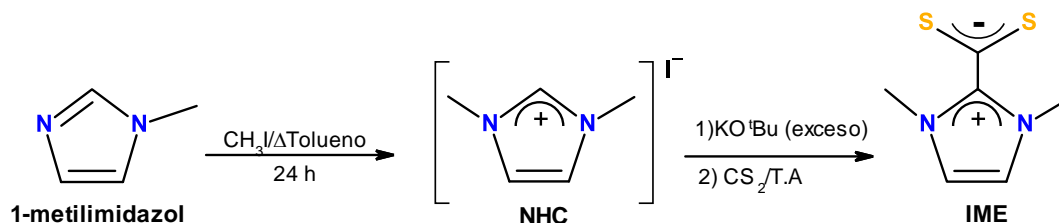


Figura 1. Esquema de reacción para la síntesis de IME.

Para determinar la pureza del IME se utilizó la técnica de resonancia magnética nuclear (RMN) en un equipo Bruker DPX-300 (300.09 MHz para ¹H). La presencia del fragmento CS₂ se determinó mediante espectroscopia de infrarrojo IR en un equipo marca Perkin-Elmer FT Paragon 1000X.

Evaluación del desempeño del inhibidor IME

Se usó una probeta de trabajo con perfil redondo de acero AISI 1018 (composición química: 0.18% C, 0.75% Mn, 0.15% Si, 0.03% P y 0.04% S), con un área expuesta de 2.0 cm². La preparación superficial del electrodo de trabajo se sometió a un proceso metalográfico estándar. Adicionalmente, se determinó las características superficiales del acero mediante microscopía óptica. Para revelar los detalles de la microestructura del acero se utilizó una solución de Nital al 3% p/p y se sumergió durante un tiempo de 5 segundos. La obtención de las

micrografías antes y después del ataque, se llevó a cabo a través de un microscopio óptico modelo MTE-1400TC-5MP. Para evaluar el efecto del inhibidor se prepararon disoluciones en ácido sulfúrico 1 M sin y con inhibidor en diferentes concentraciones (50, 100, 200, 400 y 600 ppm).

Mediante gravimetría se recolectaron datos de la pérdida de peso a los 5, 10, 15, 20, 25 y 30 días de exposición de la muestra de trabajo.

Las pruebas electroquímicas se realizaron en una celda convencional de tres electrodos: el electrodo de trabajo (WE) fue el acero 1018, el electrodo de referencia Ag/AgCl (RE) y una barra de grafito como contraelectrodo (CE). Las mediciones se llevaron a cabo a través de la imposición de voltaje o corriente suficiente para apartar a los electrodos de su estado estacionario en condiciones de corrosión libre y acelerar los procesos anódicos o catódicos. Para este fin se utilizó un Potenciostato-Galvanostato modelo VersaSTAT-4 y el software VersaStudio, en dónde se llevaron a cabo mediciones de circuito abierto (OCP), impedancia electroquímica (EIS) y TAFEL.

Los resultados obtenidos se analizaron con y sin inhibidor para determinar la eficiencia de inhibición del IME, que fue determinada mediante la ecuación (1).

$$EI (\%) = \frac{I_{\text{corr}0} - I_{\text{corr}inh}}{I_{\text{corr}0}} \times 100 \quad (1)$$

Donde: $I_{\text{corr}0}$ es la densidad de corriente inicial sin inhibidor; $I_{\text{corr}inh}$ es la densidad de corriente con el uso del inhibidor en diferentes concentraciones [14].

Resultados y discusión

Determinación de la pérdida de peso del acero 1018

El deterioro superficial de la muestra de acero 1018 en medio ácido durante la evaluación electroquímica, se realizó mediante gravimetría a través de la medición de la pérdida de peso del metal con y sin inhibidor. En la Figura 2, se presentan los resultados de la pérdida de peso en función del tiempo de inmersión. Es evidente la función del IME en retrasar el proceso de corrosión.

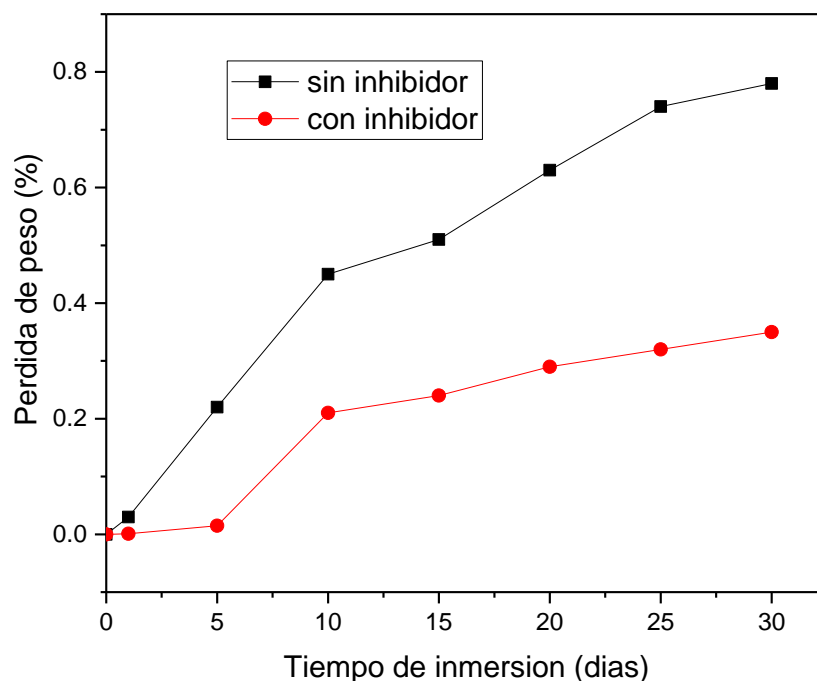


Figura 2. Pérdida de peso del acero 1018 en medio ácido.

En la Figura 3 se presentan las imágenes obtenidas mediante microscopía óptica de las muestras de acero 1018 en diferentes condiciones. La Figura 3 (a) y (b) muestra el acero antes de la evaluación del proceso de corrosión en medio ácido. Para observar con mayor detalle las características superficiales del metal, se atacó químicamente con Nital al 3% p/p, Figura 3 (b). El efecto del inhibidor puede ser observado mediante la comparación de las imágenes en las Figuras 3 (c) y (d). Un deterioro notable en la superficie del acero puede ser apreciado en d en ausencia del inhibidor. La microestructura del acero 1018 está conformada por ferrita (zonas claras) y perlita (zonas oscuras). Como ha sido previamente reportado [15,16], las reacciones de transferencia de carga, tanto anódicas como catódicas se pueden llevar a cabo entre fases diferentes del metal, esto se ve reflejado en un deterioro localizado del material o corrosión por picaduras. La presencia de ferrita tiene un efecto importante en la velocidad de corrosión y se considera más anódica que la perlita.

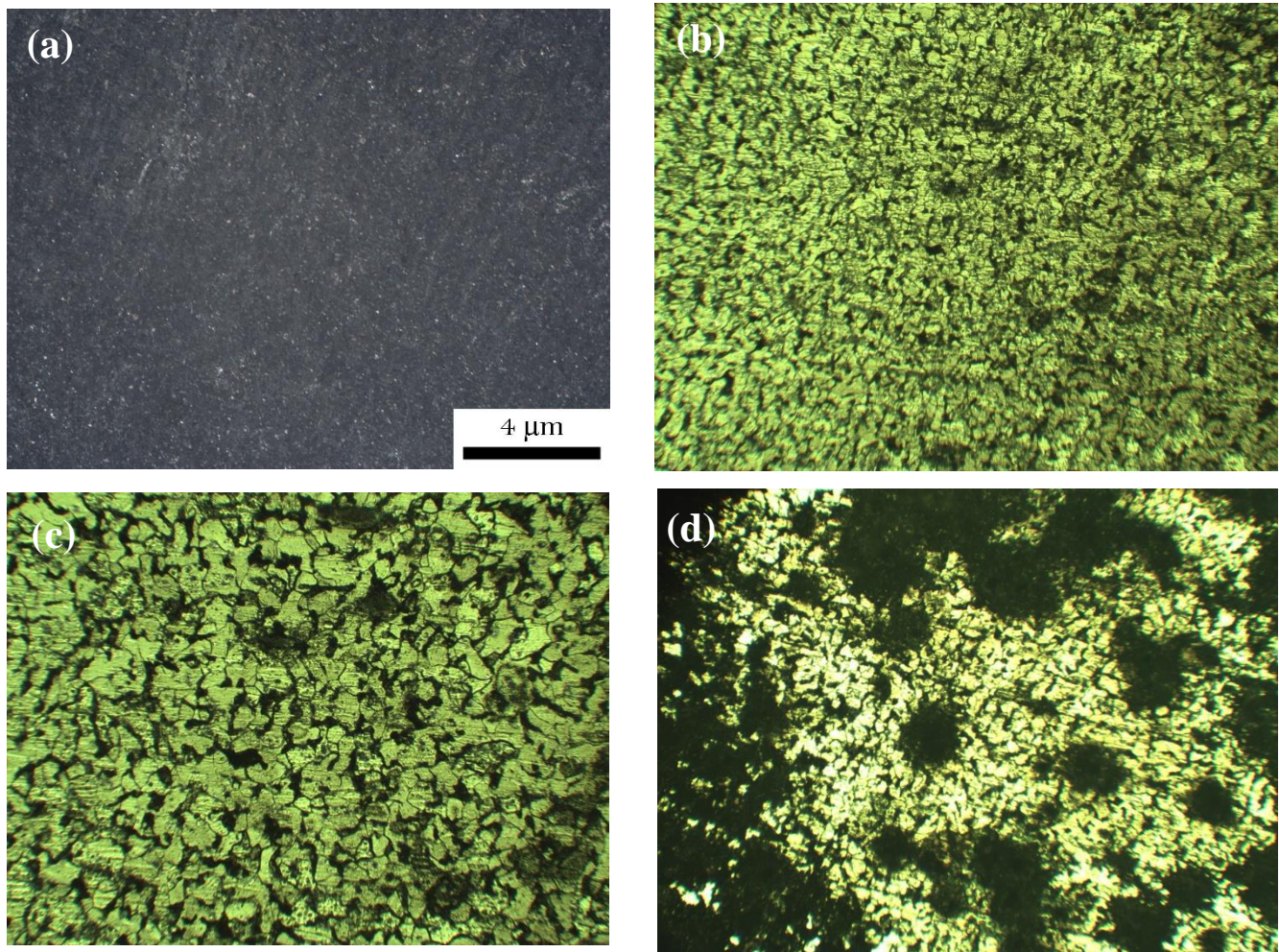


Figura 3. Imágenes de microscopía óptica del acero 1018 en diferentes condiciones: (a) sin ataque químico superficial; (b) con ataque químico superficial; (c) con inhibidor IME; (d) sin inhibidor IME.

Desempeño electroquímico

En la Figura 4 se observan las curvas de Tafel de las muestras de acero evaluadas en medio ácido con y sin inhibidor a diferentes concentraciones. Los resultados evidencian que el comportamiento del inhibidor es de carácter anódico, ya que se puede observar un desplazamiento de las curvas de polarización hacia densidades de corriente más bajas y valores del potencial de corrosión más nobles [11]. Esto indica una disminución de la velocidad de corrosión del acero, provocado por la incapacidad de los iones agresivos de la solución para interactuar con la superficie del acero debido a la absorción del inhibidor sobre el mismo [17,18]. El inserto en la Figura 4, muestra la determinación de la I_{corr} obtenida a partir de la extrapolación de las rectas pendientes a las ramas anódicas y catódicas con el eje de las abscisas (Log I). La I_{corr} se utilizó para determinar la eficiencia de acuerdo con la ecuación 1, en donde el valor máximo obtenido fue del 95% para una concentración de 600 ppm y de 32% para la menor concentración de inhibidor que fue de 50 ppm.

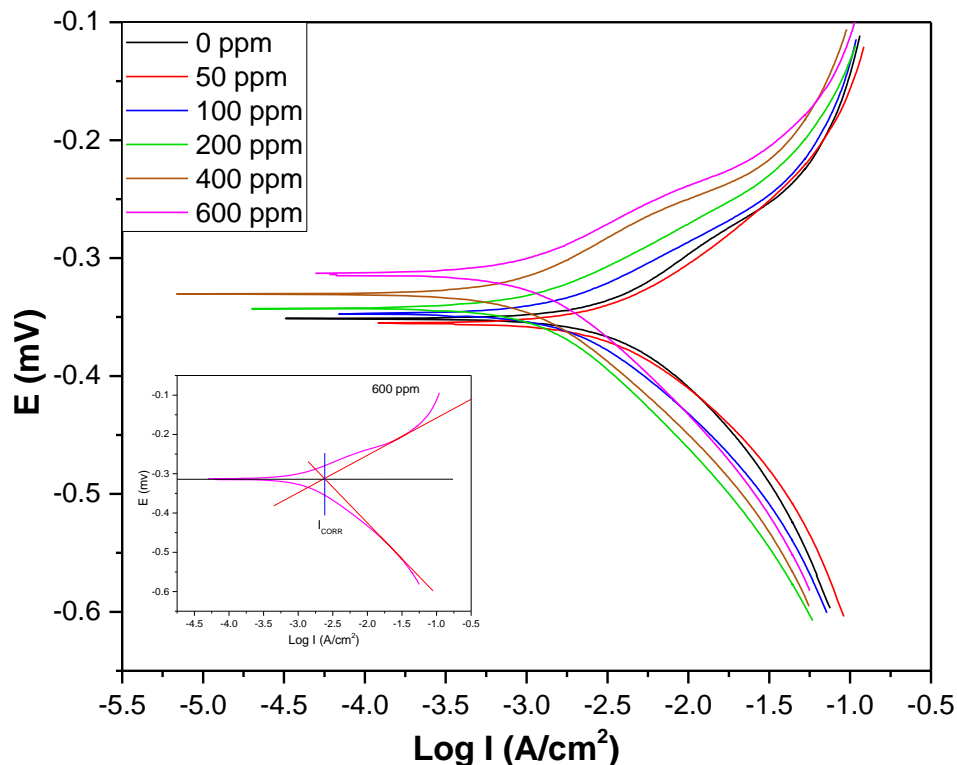


Figura 4. Curvas de Tafel obtenidas de la evaluación electroquímica sobre acero 1018.

En los diagramas de Nyquist de la Figura 5, puede observarse que a medida que se incrementa la concentración del inhibidor, aumenta el diámetro de los semicírculos lo cual se relaciona con la adsorción del IME sobre la superficie metálica. Es importante notar que se aprecia una ligera disminución en el diámetro del semicírculo a una concentración de 600 ppm, lo que puede ser atribuido a la sobre saturación de moléculas de inhibidor presentes en la superficie del electrodo de trabajo y a la presencia de fuerzas de repulsión entre las moléculas del inhibidor que dan lugar a un proceso de desorción, de este modo se promueve un aumento en el número de sitios activos expuestos al electrolito [12,19,20].

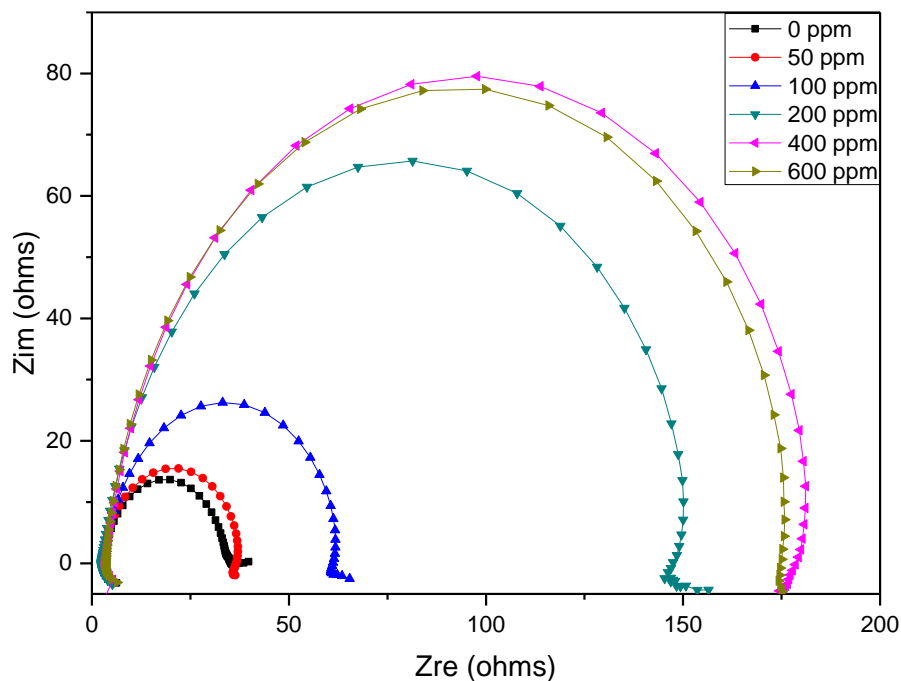


Figura 5. Diagramas de impedancia de Nyquist de los sistemas evaluados sobre acero 1018 sin y con inhibidor.

Trabajo a futuro

Considerar los diferentes factores que tienen influencia en la eficiencia anticorrosiva, entre los que se encuentran el mecanismo de interacción entre el inhibidor y la superficie metálica, la temperatura, el tipo de metal y el medio de corrosión.

Conclusiones

De acuerdo con las condiciones de reacción evaluadas en este trabajo y con el uso de las técnicas electroquímicas antes descritas, se determinó que el compuesto orgánico IME, proporciona una protección anódica y puede inhibir la corrosión de un acero 1018 hasta en un 95% cuando se encuentra en un medio ácido.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. H. Herrera Hernández de la Universidad Autónoma del Estado de México por la donación de celdas electroquímicas para la realización de pruebas de corrosión.

Referencias

- [1] S. D. Cramer and B. S. Covino, "Corrosion: fundamentals, testing and protection," ASM International Handbook, vol. 13^a, 2003.
- [2] D. Dwivedi, K Lepková and T. Becker, "Carbon steel corrosion: a review of key surface properties and characterization methods," RSC Advances, Vol.7, pp. 4580, 2017
- [3] F. U. Renner, A. Stierle, H. Dosch, D. M. Kolb, T. L. Lee and J. Zegenhagen, "Initial corrosion observed on the atomic scale" Nature, Vol. 439, pp. 707 —710, 2006

- [4] W. Villamizar, M. Casales, J. G. Gonzalez-Rodriguez and L. Martinez, "CO₂ corrosion inhibition by hydroxyethyl, aminoethyl, and amidoethyl imidazolines in water–oil mixtures" *Journal of Solid-State Electrochemistry*, vol. 11, pp. 619–629, 2006
- [5] J. Talati, D. Gandhi, "N-heterocyclic compounds as corrosion inhibitors for aluminium-copper alloy in hydrochloric acid". *Corrosion Science*, vol. 23, pp.1315–32,1983
- [6] A. Mishra, J. Aslam, C. Verma, M.A. Quraishi, E. E. Ebenso, "Imidazoles as highly effective heterocyclic corrosion inhibitors for metals and alloys in aqueous electrolytes: A review", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, pp. 1-18. 2020
- [7] NV. Likhanova, R. Martínez-Palou, MA. Veloz, DJ. Matias, VE. Reyes-Cruz, H. Höpfl, O. Olivares, "Microwave-assisted synthesis of 2-(2-pyridyl) azoles. Study of their corrosion inhibiting properties" *Journal of Heterocyclic Chemistry*, vol. 44, pp.145–53, 2007
- [8] MBP. Mihajlovic, MB. Radovanovic, ZZ. Tasic, MM. Antonijevic, "Imidazole based compounds as copper corrosion inhibitors in seawater" *Journal of Molecular Liquids*, vol. 225 pp. 127–36, 2017
- [9] S. Ramkumar, D. Nalini, MA. Quraishi, EE. Ebenso, C. Verma, "Anti-corrosive property of bioinspired environmental benign imidazole and isoxazoline heterocyclics: a cumulative study of experimental and DFT methods" *Journal of Heterocyclic Chemistry*, vol. 57, pp. 103–19, 2020
- [10] TM. Eldebss, AM. Farag, AY. Shamy, "Synthesis of Some Benzimidazole-based Heterocycles and their Application as Copper Corrosion Inhibitors" *Journal of Heterocyclic Chemistry*, vol. 56, pp. 371–90, 2019
- [11] D.K. Yadav, M.A. Quraishi, "Electrochemical investigation of Substituted Pyranopyrazoles Adsorption on Mild Steel in Acid Solution" *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 51, pp. 8194–8210, 2012
- [12] M. Mahdavian-Ahadi, M. Attar, "Electrochemical behaviour of some transition metal acetylacetonate complexes as corrosion inhibitors for mild steel" *Corrosion Science*, vol. 51, pp. 409–414, 2009
- [13] A. Schmidt, A. Beutler, M. Albrecht, B. Snovydyovycha, F.J. Ramírez, "Imidazol-2-and-4-ylidene by decarboxylation. Studies on the cross-conjugated mesomeric betaine-alkaloid norzooanemonine and its pseudo-cross-conjugated isomer" *Organic and Biomolecular chemistry*, vol. 6, pp. 287-295, 2008
- [14] T. Poornima, J. Nayak, A. N. Shetty, "Effect of 4-(N, N-diethylamino)benzaldehyde thiosemicarbazone on the corrosion of aged 18 Ni 250 grade maraging steel in phosphoric acid solution" *Corrosion Science*, vol. 53, pp. 3688-3685, 2011
- [15] W. Callister, D. Rethwisch, "Materials science and engineering: an introduction" vol. 94. 2007.
- [16] W. F. Smith, J. Hashemi, "Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales", 4th ed. 2004.
- [17] A. Salhi, S. Tighadouini, M. El-Massaoudi, M. Elbelghiti, A. Bouyanzer, S. Radi, S. El Barkany, F. Bentiss, A. Zarrouk, "Keto-enol heterocycles as new compounds of corrosion inhibitors for carbon steel in 1 M HCl: Weight loss, electrochemical and quantum chemical investigation" *Journal of Molecular. Liquids*, vol. 248, pp. 340–349, 2017
- [18] L.O. Olasunkanmi, I.B. Obot, M.M. Kabanda, E.E. Ebenso, "Some Quinoxalin-6-yl Derivatives as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Hydrochloric Acid: Experimental and Theoretical Studies" *Journal of Physical Chemistry C*, vo. 119, pp. 16004–16019, 2015
- [19] A. Tazouti, N. Errahmany, M. Rbaa, M. Galai, Z. Rouifi, R. Touir, A. Zarrouk, S. Kaya, M.E. Touhami, B. El Ibrahimy, S. Erkan, "Effect of hydrocarbon chain length for acid corrosion inhibition of mild steel by three 8-(n-bromo-R-alkoxy)quinoline derivatives: experimental and theoretical investigations" *Journal of Molecular Structure* vol. 1244, pp. 130976, 2021
- [20] M. Naciri, Y. El Aoufir, H. Lgaz, F. Lazrak, A. Ghanimi, A. Guenbour, I.H. Ali, M. El Moudane, J. Taoufik, I. Chung, "Exploring the potential of a new 1,2,4-triazole derivative for corrosion protection of carbon steel in HCl: a computational and experimental evaluation" *Colloidal and Surfaces*, vol. 597, pp. 124604, 2020.

Influencia de la potencia y tiempo en la preparación de g-C₃N₄: evaluación de propiedades fotocatalíticas

D. Sánchez-Martínez^{1*}, Elvira Zarazúa¹

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Ecomateriales y Energía, Cd. Universitaria, 66455, San Nicolás de los Garza, NL, México

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En el presente trabajo se evaluó la influencia de variar la potencia (130, 150 y 170 W) y el tiempo (10, 30 y 60 minutos) en la preparación del nitruro de carbono (g-C₃N₄), así como su efecto en sus propiedades fotocatalíticas en la degradación de acetaminofén (AC) un medicamento usado ampliamente por la sociedad conocido como paracetamol. Las muestras preparadas fueron caracterizadas por Difracción de rayos-X para corroborar la formación del g-C₃N₄. Se utilizó microscopía electrónica de barrido para análisis de la morfología y tamaño de partícula logrando observar una morfología de láminas principalmente donde estas varían en dimensiones en función de la potencia y tiempo. Se determinó la energía de banda prohibida la cual fue de alrededor de 2.7 eV. Mediante de fisisorción de N₂ se determinó el área superficial. La muestra que presentó la mejor actividad fotocatalítica fue la preparada a 150 W y 10 minutos.

Palabras clave: g-C₃N₄, sonoquímica, acetaminofén, fotocatalisis.

Abstract

In the present work, the influence of varying the power (130, 150 and 170 W) and time (10, 30 and 60 minutes) in the preparation of carbon nitride (g-C₃N₄) was evaluated, as well as its effect on its photocatalytic properties in the degradation of acetaminophen (AC), a drug widely used by society known as paracetamol. The prepared samples were characterized by X-ray diffraction to corroborate the formation of g-C₃N₄. Scanning electron microscopy (SEM) was used to analyze the morphology and particle size, observing a morphology of sheets mainly where these vary in dimensions as a function of power and time. The band-gap energy (E_g) value was around 2.7 eV. The surface area was determined by means of N₂ physisorption. The sample that presented the best photocatalytic activity was the one prepared at 150 W and 10 minutes.

Key words: g-C₃N₄, sonochemistry; acetaminophen, photocatalysis

Introducción

Debido a los problemas de contaminación del agua en los últimos años, en particular provocados por uso de contaminantes emergentes, se ha puesto la atención para coadyuvar a la remediación de la limpieza y purificación del agua el uso de la tecnología de la Fotocatálisis. La cual es tecnología

* Corresponding autor: D. Sánchez-Martínez

Phone: +52 (81) 8329 4000 Ext: 7270

email: dansanm@gmail.com

Universidad Autónoma de Nuevo León, FIC-Departamento de Ecomateriales y Energía,
Cd. Universitaria, C.P. 66455, San Nicolás de los Garza, N.L., México.

verde y sustentable capaz de tratar todas las clases de contaminantes orgánicos mediante el uso de energía solar [1, 2]. Esta tecnología involucra el uso de un material semiconductor conocido como fotocatalizador el cual al ser activado con una fuente de energía externa (lámpara o energía solar) provoca en la superficie del semiconductor una serie de reacciones químicas (óxido-reducción) que al entrar en contacto con el contaminante orgánico puede ser capaz de eliminarlo en su totalidad, incluso a muy bajas concentraciones donde los procesos convencionales no logran realizar esto, por tal motivo el interés de esta tecnología en los últimos años para aportar soluciones en el cuidado y limpieza del agua.

Recientemente, el nitruro de carbono ($g-C_3N_4$) ha llamado la atención para ser empleado como fotocatalizador en el área de la fotocatálisis, debido a que su método de preparación es fácil y económico. Es un material polimérico con una estructura ordenada conformada a través de tri-s-triazina (ver Figura 1). El $g-C_3N_4$ presenta estructura electrónica única que le permite ser activado en la región del visible, presenta una buena estabilidad térmica y química en el ambiente, no es tóxico y es económica su obtención, lo cual lo hace un material prometedor en el área de la fotocatálisis [3].

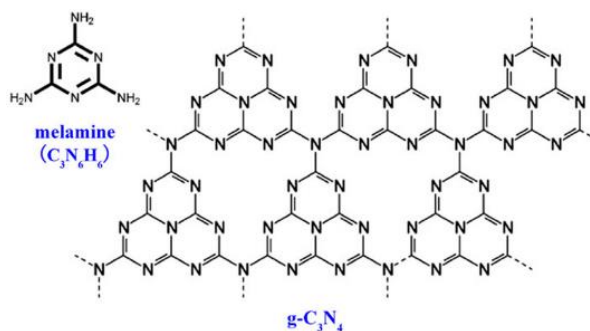


Figura 1.- Estructura de tri-s-triazina de $g-C_3N_4$ y melamina ($C_3N_6H_6$) [4].

Además, las propiedades que ha mostrado el $g-C_3N_4$, han resultado en su uso para diferentes aplicaciones como baterías [5], sensores [6], medicina [7] y como se mencionó previamente en la fotocatálisis. En donde en la fotocatálisis ha sido ampliamente usado utilizado para la degradación de compuestos orgánicos [8], producción de hidrógeno [9], reducción de CO_2 [10] y remoción de NO_x [11]. Sin embargo, una desventaja que presenta el $g-C_3N_4$, es la diferente actividad que presenta por cada batch sintetizado y la molécula orgánica de partida, además de una relativa rápida recombinación de las cargas fotogeneradas. Por lo tanto, se han realizado diversos estudios con el objetivo de aumentar su actividad fotocatalítica como el dopaje de metales nobles [12], no metales [13], la formación de compositos con otros semiconductores [14] y su exfoliación por diversas técnicas, en particular térmica [15]. Por lo que este proyecto se centra en esta última área en la búsqueda de exfoliar el $g-C_3N_4$ por el método de sonoquímica variando la potencia y el tiempo para posteriormente evaluar su influencia de estos parámetros en la actividad fotocatalítica en la degradación de acetaminofén (paracetamol) para la limpieza del agua de este tipo de contaminante emergentes.

Metodología

Síntesis de $g-C_3N_4$

Polvos de $g-C_3N_4$ fueron obtenidos por el método de policondensación a partir de colocar 3 g de melamina ($C_3H_6N_6$, Sigma-Aldrich 99% de pureza) en un crisol de porcelana con tapa y tratado térmicamente a $550\text{ }^\circ\text{C}$ por 4.5 h utilizando una rampa de calentamiento de $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$.

Síntesis de g-C₃N₄ por sonoquímica

Con el objetivo de modificar las propiedades fisico-químicas y mejorar el desempeño fotocatalítico del g-C₃N₄, este fue sometido a diferentes tratamientos por sonoquímica variando condiciones de potencia y tiempo utilizando un equipo Hielscher UP200Ht. El procedimiento de preparación fue el siguiente: Primero 0.5 g of g-C₃N₄ obtenido por método de policondensación fue colocado en un tubo de borosilicato con 40 mL de agua desionizada para posteriormente someterlo a diferentes condiciones de potencia y tiempo en el equipo de ultrasonido (ver Tabla 1). Finalmente, las muestras después de ser sometidas al equipo de ultrasonido fueron secadas a 80°C para obtener los materiales y posteriormente caracterizarlos.

Tabla 1.- Condiciones de preparación de la muestra de g-C₃N₄ por sonoquímica.

Nombre de la muestra	Potencia (Watts)	Tiempo (minutos)
130W-10m	130	10
130W-30m		30
130W-60m		60
150W-10m	150	10
150W-30m		30
150W-60m		60
170W-10m	170	10
170W-30m		30
170W-60m		60

Caracterización

La caracterización estructural de las muestras de g-C₃N₄ fueron analizadas por Difracción de rayos-X en polvos utilizando un equipo Bruker D8 advanced diffractometer con radiación de CuK α ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$) equipado con un detector Vantec de alta velocidad. Los datos de las muestras fueron analizados en un rango de 2θ de 10-70° con una velocidad de escaneo de 0.05° and 0.5 s⁻¹. La morfología y tamaño de las partículas de las muestras fueron determinados por microscopia electrónica de barrido (MEB) utilizando un equipo JEOL Instruments modelo JSM 6490. La energía de banda prohibida (E_g) de las muestras de g-C₃N₄ fue determinada por medio de espectroscopia de reflectancia difusa UV-Vis utilizando un espectrofotómetro UV-Vis NIR Cary 500 equipado con una esfera de integración. Los espectros de reflectancia difusa UV-Vis fueron analizados utilizando la función de Kabelka-Munk, utilizando la siguiente ecuación (1):

$$F(R) = \frac{(1 - R)^2}{2R} \quad (1)$$

Donde, R es la relación entre la intensidad de la luz reflejada y la intensidad de la luz reflejada de la referencia [16]. Finalmente, el valor de E_g fue calculado por una transición directa a través de la extrapolación de una línea recta a la pendiente del eje "x", utilizando la siguiente ecuación (2):

$$E_g = \frac{1240}{\lambda_g} \quad (2)$$

Donde, λ_g es la longitud de onda (nm) de la luz de excitación y E_g el valor de la energía de banda prohibida [17]. El área superficial BET de las muestras de g-C₃N₄ fue determinada por los isoterma de adsorción-desorción de N₂ utilizando un analizador de tamaño de poro y área superficial BELSORP-mini II JAPAN. Los isoterma fueron evaluados a -196 °C después de desgasificar las muestras por medio de un tratamiento térmico a 150 °C por 4 h.

Pruebas fotocatalíticas

El reactor fotoquímico (150 mL) empleado en este trabajo consiste en un recipiente redondo de vidrio borosilicato el cual tiene alrededor una chaqueta de enfriamiento donde se hace circular agua para mantener la temperatura de la reacción en 25 °C ±1. Una lámpara de xenón de 35 W y 6000 K fue utilizada con fuente de luz solar simulada para activar los fotocatalizadores [18]. La actividad fotocatalítica de las muestras de g-C₃N₄ fue evaluada en la reacción de degradación de acetaminofen (AC) también conocido comúnmente como paracetamol a una concentración de 15 mg.L⁻¹. Las pruebas fotocatalíticas fueron realizadas mediante el siguiente procedimiento: 100 mL de la solución del contaminante orgánico conteniendo 100 mg de los polvos de g-C₃N₄ fueron adheridos en un vaso de precipitado para colocarlo en un baño de ultrasonido por 1 minuto para eliminar aglomerados de las partículas y dispersar el material, posteriormente después de este proceso la solución fue transferida al reactor fotocatalítico. Luego, la solución fue mantenida en oscuridad durante 1 h para alcanzar el equilibrio de adsorción-desorción del contaminante orgánico sobre la superficie del catalizador. Después de este tiempo, la fuente de luz fue encendida para iniciar la reacción fotocatalítica. Durante la reacción, muestras de 10 mL fueron tomadas en diferentes intervalos de tiempo para posteriormente analizar la concentración del AC mediante su banda de máxima absorción (242 nm) por espectroscopia de Uv-vis (Perkin Elmer Lambda 35).

Resultados y discusión

Análisis estructural (DRX)

Como resultado de la síntesis del g-C₃N₄ por ultrasonido bajo diferentes condiciones de potencia y tiempo se obtuvieron polvos con una coloración amarillo claro. La Figura 2 muestra los patrones de difracción de las muestras preparadas de g-C₃N₄, donde podemos observar que todos los materiales fueron satisfactoriamente obtenidos de acuerdo al patrón de difracción de g-C₃N₄ reportado en literatura donde las dos reflexiones características del g-C₃N₄ son observadas ~ 13.1° (100) y 27.4° (002), correspondientes al arreglo de su estructura tris-s-triazine y al apilamiento de los sistemas aromáticos conjugados del fotocatalizador, respectivamente [19].

Morfología

En la Figura 3 se observa la morfología de las muestras preparadas por ultrasonido a diferentes potencias y tiempos de reacción, así como la muestra de referencia obtenida por el método de policondensación. Se puede observar de manera general que las muestras presentan una morfología en forma de láminas principalmente, donde a medida que se incrementa la potencia y tiempo, las láminas por efecto de la exposición a la irradiación de ultrasonido tienden a ser de menor tamaño. Por lo tanto, podemos observar que la muestra a una potencia intermedia de 150 W y 10 minutos presento una morfología más definida y con el tamaño de las láminas de mayores dimensiones (arriba 1 μm). Conforme se incrementó el tiempo de irradiación por ultrasonido, las láminas fueron disminuyendo en dimensiones como se mencionó de manera general anteriormente. En el caso de la muestra de partida obtenida por el método de policondensación se observa una morfología de láminas con dimensiones de alrededor de 1 a 2 μm.

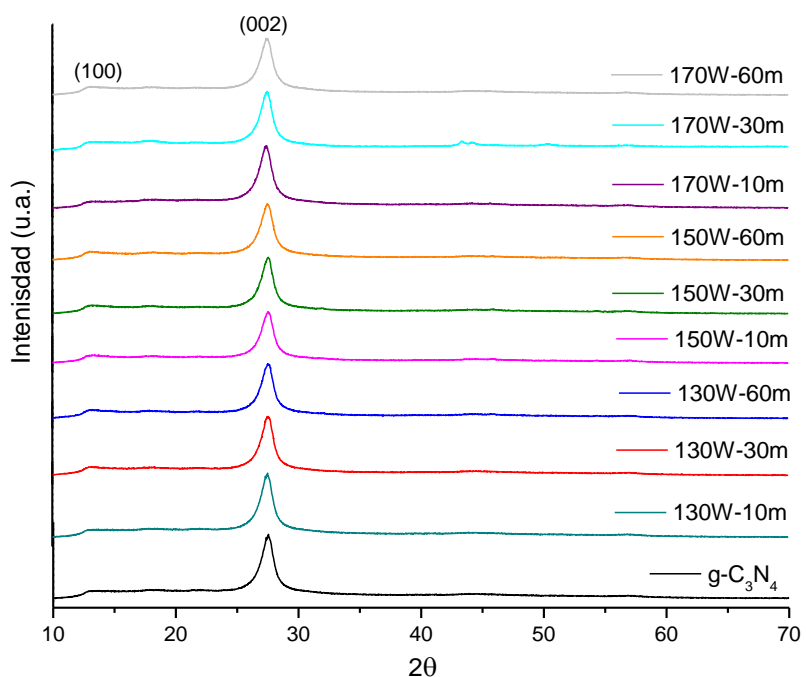


Figura 2. Patrón de difracción de las muestras de g-C₃N₄ tratadas por ultrasonido a diferentes condiciones de potencia y tiempo.

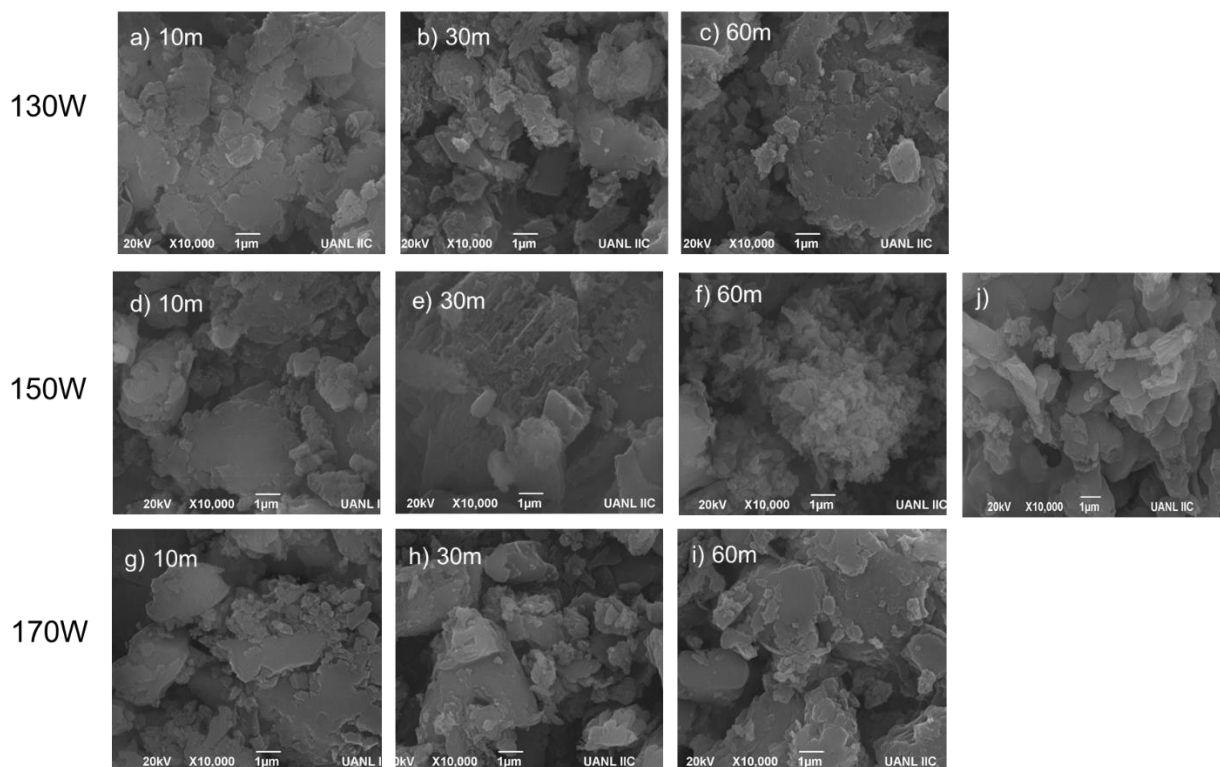


Figura 3. Patrón de difracción de las muestras de g-C₃N₄ tratadas por ultrasonido (inciso a-i) y por policondensación (j)

Energía de banda prohibida y área superficial

Las propiedades ópticas de los materiales preparados por ultrasonido bajo diferentes condiciones experimentales fueron determinadas a partir de los espectros de absorbancia obtenidos por un espectrofotómetro UV-Vis NIR Cary 500 equipado con una esfera de integración (ver Figura 4). Los materiales preparados presentaron un valor de banda de energía prohibida alrededor de 2.7 eV; similar al valor reportado en la bibliografía [20].

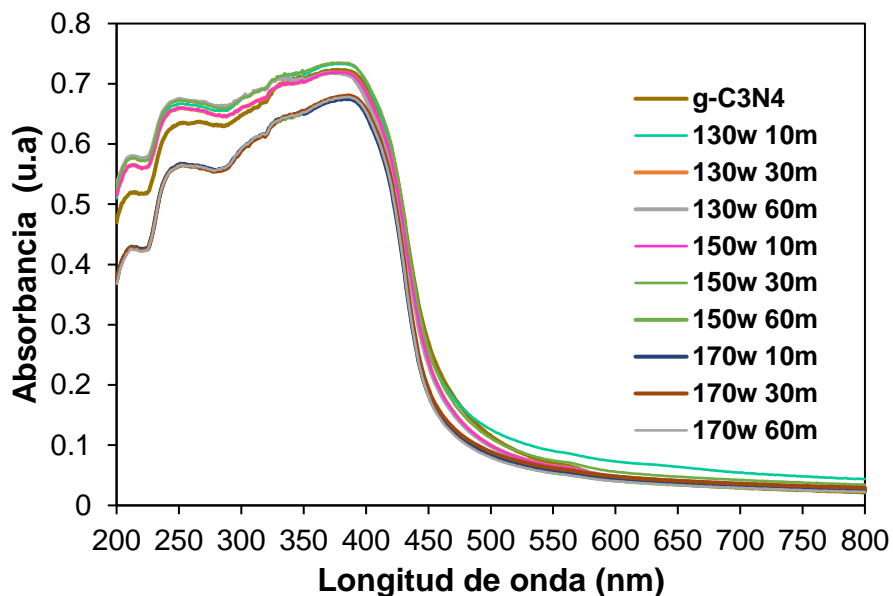


Figura 4.- Espectros de absorbancia de UV-vis de las muestras de g-C₃N₄ por sonoquímica a diferentes condiciones experimentales.

El área superficial obtenida de los materiales preparados bajo diferentes condiciones experimentales fue de alrededor de 6 m².g⁻¹ para las muestras obtenidas a 130 W de potencia, 16 m².g⁻¹ para las muestras obtenidas a 150 W de potencia y alrededor de 10 m².g⁻¹ para las preparadas a 170 W de potencia por ultrasonido. Por lo tanto, podemos concluir que las muestras con la mayor área superficial fueron las obtenidas por la técnica de sonoquímica a una potencia de 150 W.

Pruebas fotocatalíticas

La Figura 5 muestra las pruebas fotocatalíticas utilizando como fotocatalizador el g-C₃N₄ obtenido por sonoquímica a una potencia de 130 W variando el tiempo de reacción en 10, 30 y 60 minutos. Se puede observar que la muestra que presentó el mejor comportamiento fotocatalítico en la degradación de acetaminofén (AC) fue la muestra obtenida a 30 minutos, logrando una degradación de alrededor de 78% en 150 minutos.

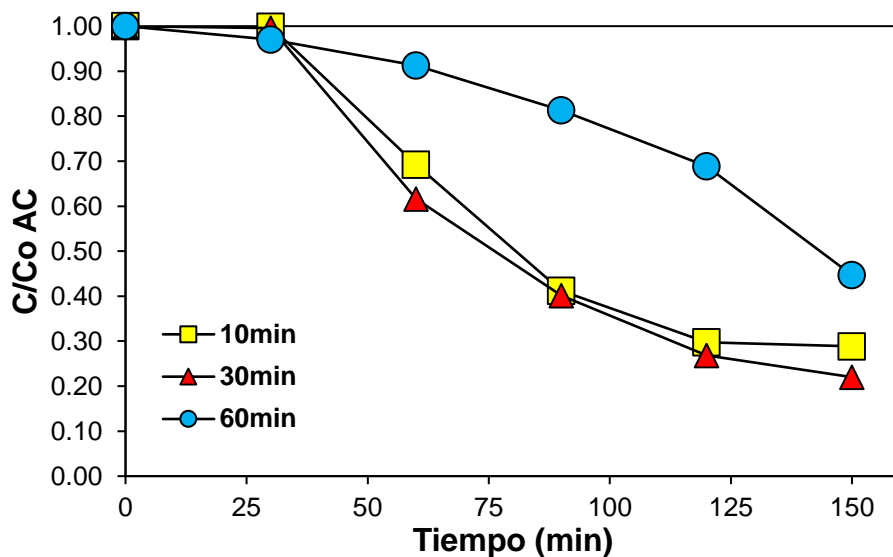


Figura 5.- Degradación fotocatalítica de AC (15 mg.L^{-1}) en presencia de $\text{g-C}_3\text{N}_4$ por sonoquímica a 130W variando el tiempo de reacción.

La Figura 6 muestra las pruebas fotocatalíticas utilizando como fotocatalizador el $\text{g-C}_3\text{N}_4$ obtenido por sonoquímica a una potencia de 150 W variando el tiempo de reacción en 10, 30 y 60 minutos. Se puede observar que la muestra que presentó el mejor comportamiento fotocatalítico en la degradación de acetaminofén (AC) fue la muestra obtenida a 10 minutos, logrando una degradación de alrededor de 83% en 150 minutos, un poco superior a la mejor muestra obtenida a 130 W. Por lo tanto, podemos concluir que se observa un ligero comportamiento fotocatalítico mejor al preparar las muestras de $\text{g-C}_3\text{N}_4$ a 150 W de potencia.

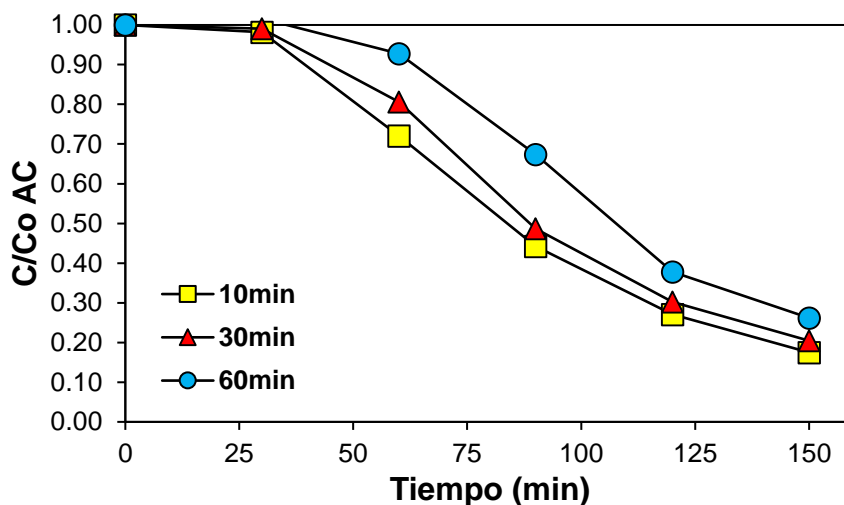


Figura 6.- Degradación fotocatalítica de AC (15 mg.L^{-1}) en presencia de $\text{g-C}_3\text{N}_4$ por sonoquímica a 150W variando el tiempo de reacción.

La Figura 7 muestra las pruebas fotocatalíticas utilizando como fotocatalizador el $g-C_3N_4$ obtenido por sonoquímica a una potencia de 170 W variando el tiempo de reacción en 10, 30 y 60 minutos. En este caso, podemos observar que la muestra que presentó el mejor comportamiento fotocatalítico en la degradación de acetaminofén (AC) fue la muestra obtenida a 30 minutos, igual a lo observado a una potencia de 130 W. Se logró degradar el acetaminofén con la mejor muestra (30 min) a 170 W alrededor de 72%, un poco menor a la mejor muestra obtenida a 130 W.

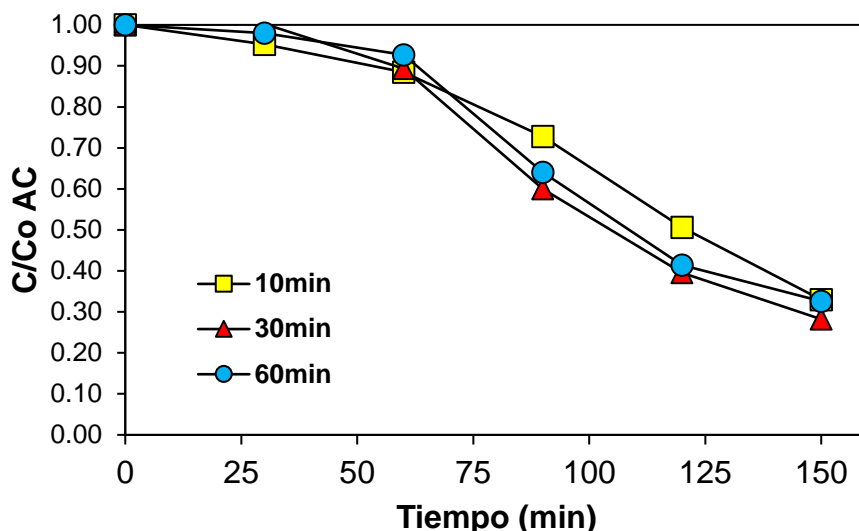


Figura 7.- Degradación fotocatalítica de AC (15 mg.L^{-1}) en presencia de $g-C_3N_4$ por sonoquímica a 170 W variando el tiempo de reacción.

Por lo tanto, podemos concluir de manera general que conforme se incrementa la potencia en la preparación de $g-C_3N_4$ por sonoquímica su desempeño fotocatalítico llega a un pico máximo y posteriormente disminuye que fue lo que se observó ya que a 150 W se tuvo el mejor comportamiento fotocatalítico y posteriormente a 170 W disminuyó incluso más bajo que cuando se empleó 130 W en la preparación del $g-C_3N_4$. De igual manera se observó que a tiempos más cortos 10 y 30 minutos se observó una mejor degradación fotocatalítica en la degradación del acetaminofén. En este sentido, la muestra que presentó el mejor comportamiento fotocatalítica en la degradación de acetaminofén fue la obtenida a 150 W y 10 minutos, esto se le puede atribuir a que fue la muestra que presentó una morfología más definida y con el tamaño de las láminas de mayores dimensiones, lo que favoreció que las muestras a una potencia de 150 W fueran las que presentaron la mayor área superficial.

Conclusiones

Se logró exfoliar satisfactoriamente $g-C_3N_4$ via sonoquímica variando la potencia y tiempo. Las muestras de $g-C_3N_4$ presentaron una morfología de láminas principalmente las cuales fueron variando conforme se incrementó la potencia y disminuyendo en tamaño conforme se incrementó el tiempo de irradiación por ultrasonido. El área superficial fue también modificada conforme se varió la potencia del ultrasonido obteniendo para las muestras preparadas a 170 W la mayor área superficial. La muestra que presentó la mejor actividad fotocatalítica en la degradación de acetaminofén fue la obtenida a 150 W y 10 minutos; es decir la muestra que presentó una morfología más definida y mayor área superficial.

Agradecimientos

El autor desea agradecer a la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) por su invaluable apoyo mediante el proyecto PAICYT-UANL clave: 561-IT-2022.

Bibliografía

- [1] J. Tang, Z. Zou, and J. Ye, Efficient Photocatalytic Decomposition of Organic Contaminants over CaBi_2O_4 under Visible-Light Irradiation, *Angewandte Chemie, International Edition*, vol. 43, pp. 4463–4466, 2004.
- [2] R. Vinu, G. Madras. "Environmental remediation by photocatalysis" *Journal of the Indian Institute of Science*, vol. 90, no. 2, pp.189-230, 2010.
- [3] J. Zhang, Q. Pan, G. Chai, M. Liang, G. Dong, Q. Zhang, J. Qiu, Synthesis and luminescence mechanism of multicolor-emitting $\text{g-C}_3\text{N}_4$ nanopowders by low temperature thermal condensation of melamine, *Scientific Reports* vol. 3, no. 1943, pp. 1-8, 2013.
- [4] G. Dong, Y. Zhang, Q. Pan, and J. Qiu, "A fantastic graphitic carbon nitride ($\text{g-C}_3\text{N}_4$) material: Electronic structure, photocatalytic and photoelectronic properties," *J. Photochem. Photobiol. C Photochem. Rev.*, vol. 20, no. 1, pp. 33–50, 2014.
- [5] C. Senthil, T. Kesavan, A. Bhaumik, M. Sasidharan. N-rich graphitic carbon nitride functionalized graphene oxide nanosheet hybrid as anode for high performance lithium-ion batteries. *Materials Research Express*, vol. 5, no. 1, pp. 1-5, 2018.
- [6] K. Yan, Y. Yang, J. Zhang. A self-powdered sensor based on molecularly imprinted polymer-coupled graphitic carbon nitride photoanode for selective detection of bisphenol A. *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 259, pp. 394-401, 2018.
- [7] Y.J. Chung, B.I. Lee, J.W. Ko, C.B. Park. Photoactive $\text{g-C}_3\text{N}_4$ nanosheets for light-induced suppression of Alzheimer's β -Amyloid Aggregation and Toxicity. *Advanced Health Care Materials*, vol. 5, pp. 1560-1565, 2016.
- [8] J. Oh, Y. Shim, S. Lee, S. Park, D. Jang, Y. Shin, S. Ohn, J. Kim, S. Park. Structural insights into photocatalytic performance of carbon nitrides for degradation of organic pollutants. *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 258, pp. 559-565, 2018.
- [9] X. Wu, F. Chen, X. Wang, H. Yu. In situ one-step hydrothermal synthesis of oxygen-containing groups modified $\text{g-C}_3\text{N}_4$ for the improved photocatalytic H_2 -evolution performance. *Applied Surface Science*, vol. 427, pp. 645-653, 2018.
- [10] P. Xia, B. Zhu, J. Yu, S. Cao, M. Jaroniec. Ultra-thin nanosheet assemblies of graphitic carbon nitride for enhanced photocatalytic CO_2 . *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 5, pp. 3230-3238, 2017.
- [11] I. Papailias, N. Todorova, T. Giannakopoulou, S. Karapati, N. Boukos, D. Dimotikali, C. Trapalis. Enhanced NO_2 abatement by alkaline-earth modified $\text{g-C}_3\text{N}_4$ nanocomposites for efficient air purification. *Applied Surface Science*, vol. 430, pp. 225-233, 2018.
- [12] W.J. Ong, L.L. Tang, S.P. Chai, S.T. Yong. Heterojunction engineering of graphitic carbon nitride ($\text{g-C}_3\text{N}_4$) via Pt loading with improved daylight-induced photocatalytic reduction of carbon dioxide to methane. *Dalton Transactions*, vol. 4, pp. 249-1257, 2015.
- [13] Y. Zeng, X. Lu, C. Liu, L. Wong, Y. Xia, S. Zhang, S. Luo, Y. Pei. Scalable one-step production porous oxygen-doped $\text{g-C}_3\text{N}_4$ nanorods with effective electron separation for excellent visible light photocatalytic activity. *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 224, pp. 1-9, 2018.
- [14] A. Khan, U. Alam, W. Raza, M. Muneer. One-pot, self-assembled hydrothermal synthesis of 3D flower-like $\text{CuS/g-C}_3\text{N}_4$ composite with enhanced photocatalytic activity under visible-light irradiation. *Journal of Physics and Chemistry of solids*, vol. 115, pp. 59-68, 2018.
- [15] Lirong Yang, Xiaoyu Liu, Zhigang Liu, Chunmei Wang, Gang Liu, Qinglong Li, Xiaoxin Feng, Enhanced photocatalytic activity of $\text{g-C}_3\text{N}_4$ 2D nanosheets through thermal exfoliation using dicyandiamide as precursor, *Ceramics International*, vol. 44, no. 17, pp. 20613-20619, 2018.
- [16] P. Makuła, M. Pacia, W. Macyk, How To Correctly Determine the Band Gap Energy of Modified Semiconductor Photocatalysts Based on UV-Vis Spectra, *J. Phys. Chem. Lett.*, vol. 9, pp. 6814–6817, 2018.
- [17] N. Rungjaroentawon, S. Onsuratoom, S. Chavadej, Hydrogen production from water splitting under visible light irradiation using sensitized mesoporous $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ mixed

- oxide photocatalysts, *Int. J. Hydrogen Energy.*, vol. 37, no. 15, pp. 11061–11071, 2012.
- [18] D. Sánchez-Martínez, I. Juárez-Ramírez, Leticia M. Torres-Martínez, I. de León-Abarte, Photocatalytic properties of Bi_2O_3 powders obtained by an ultrasound-assisted precipitation method, *Ceramics International*, vol. 42, no. 1, pp. 2013–2020, 2016.
- [19] T. Montalvo-Herrera, D. Sánchez-Martínez, D. B. Hernandez-Uresti, E. Zarazua-Morin, Facile preparation of $\text{KBiO}_3/\text{g-C}_3\text{N}_4$ composites with microwave irradiation for photocatalytic hydrogen production, *J Chem Technol Biotechnol*, vol. 94, pp. 3440–3446, 2019.
- [20] T. Montalvo-Herrera, J. C. Vallejo-Márquez, D. B. Hernández-Uresti, D. Sánchez-Martínez, Enhanced visible light photoactivity of polymeric $\text{g-C}_3\text{N}_4$ by twice exfoliation in the degradation of acetaminophen and ibuprofen, vol. 33, pp. 16210–16218, 2022.

Sistema anaerobio para el tratamiento de residuos de frutas y hortalizas

Hernández Carrillo Karen Joseline¹, Angélica Serrano Galindo², Sergio Esteban Viguera Carmona^{1*}, María Monserrat Montes García³, Juan Antonio Yañez Varela³

¹Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, sviguera@tese.edu.mx, ²Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, anserranogal@gmail.com, ³Universidad Mexiquense del Bicentenario UES Tultitlan, maría.montes@umb.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En este trabajo se evalúa un sistema de tratamiento anaerobio de residuos de frutas y hortalizas (RFH), los cuales son colocados en un tanque con agua (con una relación RFH:H₂O de 1:4, durante 2 días, posteriormente la fracción líquida de la mezcla es utilizada como alimentación a un primer reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA 1) en este se alimentan cargas orgánicas de 4, 6, y 9 g DQO·L⁻¹·d⁻¹ para la transformación de la materia disuelta en metano y bióxido de carbono. El efluente que abandona el RAFA 1 es la alimentación de un segundo reactor (RAFA 2). Ambos son operados a temperatura ambiente (18 – 22 °C) dentro de una cámara oscura. La evaluación del sistema anaerobio-anaerobio se realizó en términos de la remoción de la demanda química de oxígeno y productividad de biogás. Se logró una remoción global del 89 % y una productividad promedio de metano de 1.3 L biogás·L⁻¹·d⁻¹

Palabras clave: Digestión anaerobia, Residuos de frutas y hortalizas, Biogás

Abstract

In this work, an anaerobic treatment process for fruit and vegetable residues with low energy requirements is evaluated. First, fruit and vegetable waste are placed in a tank with water with a FVW:H₂O ratio of 1:4, for 2 days, then the liquid fraction of the sample is used as feed to a first up flow anaerobic sludge blanked (UASB 1) in this reactor, the dissolved organic matter is transformed into methane and carbon dioxide. The water leaving UASB 1 was fed to a second reactor (UASB 2). Both reactors are operated at room temperature inside a dark room. The evaluation of the anaerobic-anaerobic system was carried out in terms of the removal of chemical oxygen demand and biogas productivity. Achieving a global removal of 89% and an average methane productivity of 1.3 L biogas·L⁻¹·d⁻¹

Key words: Anaerobic digestion, Fruit and vegetable waste, Biogas

Introducción

El desarrollo tecnológico y económico sin precedentes ha dado forma a las características de producción y consumo de diversos tipos de materiales. Junto con el crecimiento de la población, el problema de la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) también ha crecido. En México se generan aproximadamente 120,128 toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) diarios, según los datos recabados en el 2020 por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [1]. Estos residuos son gestionados mediante la recolección, el traslado y la disposición final en rellenos sanitarios (manejo básico). En la última década la gestión de los residuos ha migrando a la económica circular, cambiado el manejo básico a un manejo integral en donde los residuos son utilizados para la manufactura de productos con valor agregado y la producción de energía, retornando los residuos a los ciclos productivos.

Los desechos biogénicos tienen un alto potencial para el suministro de energía/materiales alternativos, de ahí el surgimiento de la bioeconomía que está profundamente relacionada con los conceptos de economía circular. Las biorrefinerías de desechos son el corazón de la bioeconomía, ya que se caracterizan por generar productos de alto valor agregado y bajo volumen de producción o de bajo valor agregado y de alto volumen de producción a partir de desechos biogénicos. Una de las tecnologías más robusta en el concepto de biorrefinerías es la digestión anaerobia (DA) debido a que tiene un potencial reconocido para contribuir a la producción de altos volúmenes de biogás a bajos costos de operación [2].

Uno de los desechos biogénicos de gran abundancia en las grandes ciudades son los residuos de frutas y hortalizas (RFH), que por su alto potencial de biodegradación provocan grandes problemas de salud pública cuando estos no son gestionados de manera adecuada. La revalorización energética/materiales de estos puede darse si son tratados por digestión anaerobia ya que se genera biogás con alto contenido de metano, digestatos sólidos y líquidos con características de fertilizantes, recuperador de suelos, té agrícola. Sin embargo, uno de los problemas asociados a la DA de RFH es la alta cantidad de sólidos suspendido lo que impide el uso de reactores anaerobios de alta tasa, tipo UASB, EGSB (por sus siglas en inglés), esta implicación reduce el uso de la DA para el tratamiento de RFH a reactores anaerobios de baja tasa, limitando a su vez la energía producida [3].

Se ha desarrollado diferentes pretratamientos para los residuos sólidos orgánicos en general (RFH, rastrojos, residuos de poda y agroindustriales) con la intención de acondicionarlos para su tratamiento en reactores anaerobios de alta tasa, pero la mayoría de estos pretratamientos incrementan los costos de operación [4,5,6,7].

Un pretratamiento de bajo costo para los RFH, consiste en la extracción de los sólidos disueltos de los RFH mediante agua, el contacto agua-RFH permite incrementar la demanda química de oxígeno disuelta del agua hasta concentraciones de $60 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, con valores bajos de sólidos suspendidos [8,9]. Dicha etapa permite generar un efluente en condiciones adecuadas para alimentarse a un reactor de alta tasa. La alta productividad de metano para la generación de energía se obtiene cuando los reactores anaerobios son operados a altas cargas orgánicas, mayores a $4 \text{ g DQO}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, provoca que la carga del efluente de salida del reactor sea todavía alta (mayor a $1 \text{ g DQO}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) lo que exige un postratamiento del efluente.

En este trabajo se evalúa un sistema de dos reactores anaerobios de alta tasa para el tratamiento de la fracción soluble de RFH.

Metodología

Caracterización del residuo de frutas y hortalizas

Recolección y composición de la mezcla

Los residuos de frutas y hortalizas se obtuvieron de un local de preparación de jugos y cocteles en Ecatepec de Morelos; Estado de México. Estos fueron transportados al laboratorio en botes de 20 L y se acondicionaron de la siguiente manera:

Se clasificaron los RFH de acuerdo con el tipo de residuo.

Se redujo el tamaño de partícula a un 1 cm aproximadamente.

Se pesó cada residuo para calcular su fracción en la mezcla original, Ecuación 1.

Las mezclas se colocaron en un recipiente de plástico, se identificaron con nombre y fecha, posteriormente se guardaron en el refrigerador por menos de 24 horas.

$$\text{Fracción} = \frac{\text{Kg de un tipo de residuo}}{\text{Total de residuo}}$$

Ecuación 1

Caracterización fisicoquímica de las mezclas de residuos

La caracterización fisicoquímica de las mezclas de RFH se realizó determinando: pH, conductividad, sólidos, humedad, demanda química de oxígeno, proteínas, carbohidratos, nitrógeno y fósforo.

Reducción del tamaño de partícula

Una vez obtenida la mezcla se redujo el tamaño de partícula, para garantizar que cada fracción contiene solo residuos con los tamaños de partículas de 1 cm.

Caracterización del inóculo

Velocidad de sedimentación (V_{sed})

Se tomaron 50 mL de muestra de lodo anaerobio y se colocaron dentro de una probeta de 250 mL, y se aforó con agua. Se agitó la muestra tres veces cubriendo la boca de la probeta para evitar derrames, posteriormente se tomó el desplazamiento de las partículas en 3 intervalos de 5 segundos, 7 intervalos de 15 s, 3 intervalos de 1 minuto y 5 intervalos de 5 minutos completando un tiempo de 30 minutos, al final se construyó un gráfico (véase Figura 1). El IVL se calcula a partir de la Ecuación 2:

$$IVL = \frac{V_{Lodo\ Sedimentado}^{t=30\ min}}{SST * V_{Lodo\ en\ probeta}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Para determinar la V_{sed} , se calculó la pendiente máxima de la curva generada en el gráfico volumen de lodo sedimentado contra tiempo (véase Figura 1.). Dicha pendiente ($m_{gráfico}$) posee unidades de $cm^3 \cdot min^{-1}$. Para convertir las unidades de volumen a unidades de longitud, fue necesario calcular el área transversal de la probeta ($\pi r^2_{probeta}$). Con estos datos es posible obtener la velocidad de sedimentación como se muestra en la Ecuación 3.

$$V_{sed} = \frac{m_{gráfico}}{\pi r^2_{probeta}} \quad \text{Ecuación 3}$$

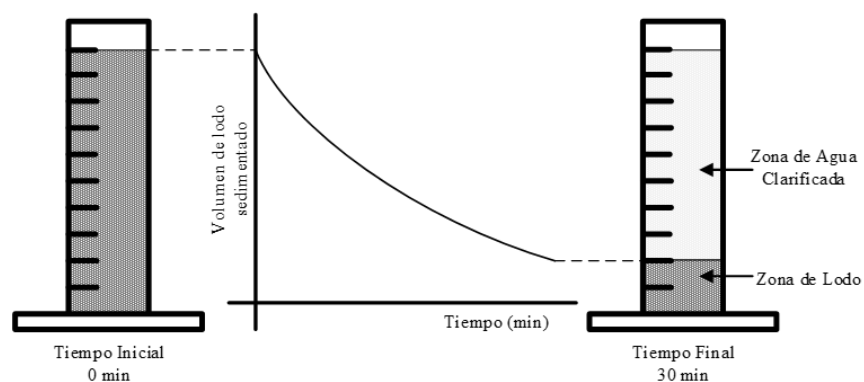


Figura 1. Construcción del gráfico a partir del ensayo de IVL.

Activación del inóculo

Preparación del medio mineral anaerobio reducido (RAMM)

El RAMM se preparó agregando a un litro de agua destilada y hervida, NH_4Cl (170g), KH_2PO_4 (37g), $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (8 g), $\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (9 g), $\text{FeCl}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (2000 mg), $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (2000 mg), $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (500 mg), $\text{CuCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (30 mg), ZnCl_2 (50 mg), H_3BO_3 (50mg), $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (90 mg), $\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (100 mg), $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (50 mg), EDTA (1000 mg), extracto de levadura (0.2 g). Se adicionó el acetato de sodio trihidratado como fuente de carbono para tener una concentración de $3 \text{ g DQO} \cdot \text{L}^{-1}$. Finalmente se ajustó el pH a 7.00 ± 0.05 .

Actividad metanogénica específica

La actividad metanogénica específica (AME) es el parámetro más utilizado en la evaluación del estado biológico del lodo anaerobio. Este ensayo se realizó en 5 pruebas independientes. La AME se determinó según lo establecido en el protocolo de Jim Field [10].

La cuantificación de metano se realizó acoplando una columna de acrílico con una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 3% conectada a una manguera que llevaba en su extremo una aguja con la cual se perforó el tapón de caucho de cada botella serológica (Figura 2), de esta manera se logró cuantificar el volumen de metano producido, disolviendo en el KOH el bióxido de carbono contenido en el biogás. Este procedimiento se llevó a cabo en el mismo horario diariamente durante los días de prueba.

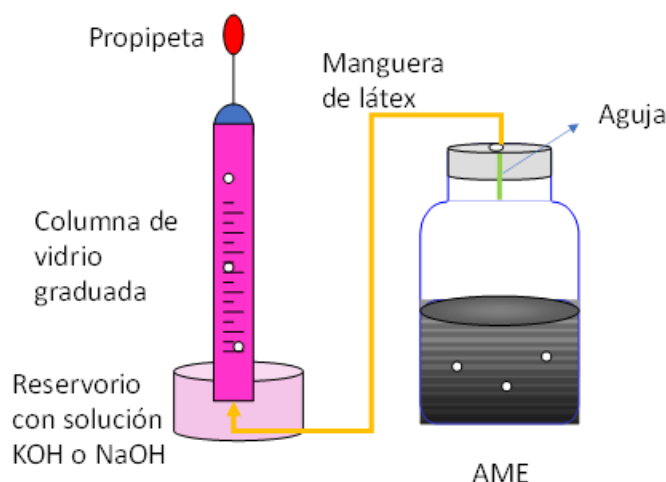


Figura 2. Dispositivo para la medición de metano.

Se generó una curva de volumen de metano acumulado con respecto al tiempo, de la cual se obtuvo la velocidad máxima de producción de metano (R). Para calcular la actividad metanogénica específica se utiliza la Ecuación 4.

$$AME = \frac{R}{FC * V * SSV} \quad \text{Ecuación 4}$$

En donde: AME = actividad metanogénica específica en $\text{g DQO}_{\text{CH}_4} \cdot \text{g}^{-1} \text{SSV} \cdot \text{d}^{-1}$, R es la velocidad máxima de producción de metano en $\text{mL} \cdot \text{d}^{-1}$, SSV es la concentración de sólidos suspendidos volátiles del inóculo en $\text{g SSV} \cdot \text{L}^{-1}$, FC es el factor de conversión $548 \text{ mL CH}_4 \cdot \text{g}^{-1} \text{DQO}$ (biogás húmedo a 585 mm Hg de presión atmosférica y $35 \text{ }^\circ\text{C}$, [10]) y V es el volumen de medio RAMM en L.

Descripción del reactor anaerobio de flujo ascendente

Se utilizaron dos RAFA, construidos en el Laboratorio de Tecnología Anaerobia del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec; los cuales son de material acrílico con un área superficial de 400 cm^2 y una altura de 100 cm. La temperatura de operación fue la ambiente. Los dos reactores están equipados con una bomba de alimentación que controla el flujo de entrada, una salida de efluente y una línea de gas conectada al sistema manual de una columna que es donde se realiza la recolección y la medición del volumen del biogás.

El lodo utilizado como inóculo es anaerobio granular proveniente de un reactor a nivel laboratorio, alimentado con mezclas de lixiviado de composteo de RFH. La carga orgánica inicial de operación es de $0.75 \text{ g DQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ y esta se incrementó conforme la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) sobrepasa el 80 %. Durante el arranque también se monitorea la altura del lecho de lodo.

Operación del sistema de tratamiento anaerobio-anaerobio

Solubilización de RFH

Los RFH, una vez homogenizado su tamaño (1 cm), son agregados a un tanque con agua. La relación RFH:H₂O fue de 1:4, después de dos días de contacto sin agitación se separó el residuo sólido mediante tamizado, los residuos sólidos con tamaños de partícula mayores a 1 mm son enviados a otro tanque con agua, la relación RFH:H₂O es de 1:2; después de dos días de contacto sin agitación son separados por tamizado, los residuos sólidos con tamaños de partícula mayores a 1 mm son enviados a compostaje.

La fracción líquida del tanque de solubilización (RFH menores a 1 mm y agua) es utilizada para preparar la alimentación al RAFA. La mezcla de alimentación es diluida para obtener una concentración inicial de DQO de 1.8, 2.7 y $4.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente, también se adicionó bicarbonato de sodio ($1 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ DQO) y se ajustó el pH a 7.0.

Operación de los reactores anaerobios de flujo ascendente

Una vez estabilizados los reactores (eficiencia de remoción de DQO mayor a 80 %), se inicia la operación del sistema de digestión anaerobia (Figura 3) con un tiempo de retención hidráulico de 12 h, iniciando con una carga de $4 \text{ g DQO L}^{-1} \text{ d}^{-1}$, después de 20 días de operación se incrementó la carga a $6 \text{ g DQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ manteniendo esta durante 20 días más. Finalmente se incrementó la carga a $9 \text{ g DQO L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. El efluente que abandona el primer reactor (RAFA 1) es alimentado al segundo (RAFA 2). Ambos fueron operados a temperatura ambiente dentro de una cámara oscura. La temperatura de operación se registraba diariamente.

La medición del biogás se realizó mediante una columna de vidrio graduada, la parte superior empezó con 0 hasta 28 cm en la parte inferior, la columna tenía un diámetro interno de 1.7 cm, estaba sobre un recipiente con agua, el desplazamiento se tomó 5 veces al día en intervalos de 2 horas. En función del tiempo de desplazamiento se determinó el flujo de biogás en $\text{mL} \cdot \text{h}^{-1}$.

Adicionalmente se monitoreó la alcalinidad del efluente de salida, utilizado como parámetro de estabilidad del RAFA.

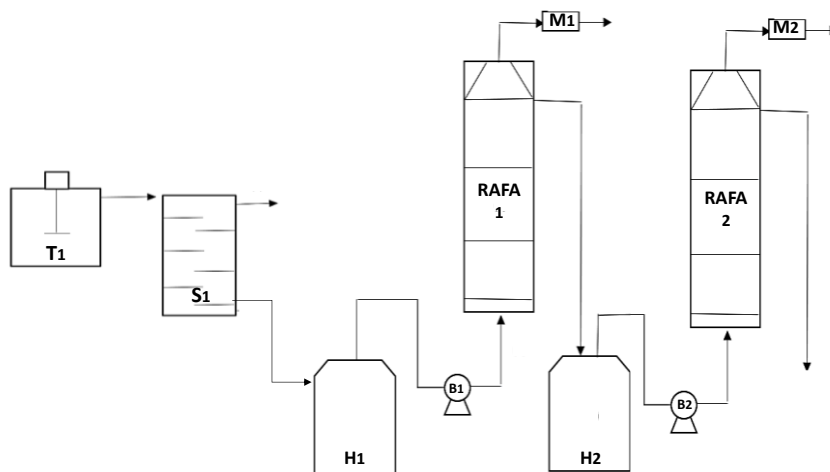


Figura 3. Sistema anaerobio para el tratamiento de RFH. T1: tanque de solubilización, S1: tamiz, H1: homogeneizador 1, H2: homogeneizador 2, RAFA 1: Reactor anaerobio de flujo ascendente 1 RAFA 2: Reactor anaerobio de flujo ascendente 2, M1: colector de biogás 1, M2: colector de biogás 2.

Resultados y discusión

Características fisicoquímicas de residuos sólidos orgánicos

La composición de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos es variada, la de las zonas rurales es diferente a las de las zonas urbanas, debido a una mayor fracción de residuos de jardín en una zona rural. La composición también está afectada por los cambios estacionales, geográficos y por los diferentes estilos de vida y culturales, tanto en términos de prácticas de reciclaje como del tipo de residuos generados en función de su alimentación. Por lo anterior es recomendable reportar la composición de los residuos con los que se hacen los estudios, cualquiera que sea su índole. En la Tabla 1 se presenta la composición de los RFH utilizados en esta experimentación. En la mezcla el 79.0 % de los residuos son melón, mango y sandía.

Tabla 1. Composición de la mezcla de residuos de frutas y hortalizas

Residuo	Masa (kg)	Fracción
Sandía	9.0	0.23
Melón	7.0	0.18
Piña	3.0	0.08
Fresa	1.0	0.03
Jícama	2.0	0.05
Mango	15.0	0.38
Pepino	1.0	0.03
Manzana	1.0	0.03
Zanahoria	1.0	0.03

En la digestión anaerobia (DA) se necesitan una serie de nutrientes para convertir el carbono a gas, entre todos los necesarios (macro y micronutrientes) los que se utilizan para controlar el proceso son el nitrógeno y el fósforo. Es deseable que la relación DQO:N:P sea 350:5:1 cuando los sustratos tienen alto contenido de carbohidratos [13]. En la Tabla 2 se muestra la caracterización fisicoquímica de las mezclas de RFH utilizadas en esta investigación, a partir de estos valores se determina que la relación DQO:N:P es de 350:2.5:1, lo que implica

una deficiencia en nitrógeno. Razón por la que al medio de alimentación fue balanceado usando cloruro de amonio para equilibrar la relación DQO:N:P a los valores deseados. Este tipo de residuos presentan un alto contenido de humedad si los comparamos con residuos de pastizales, rastrojos y residuos de poda con 6% de humedad [4, 14].

Tabla 2. Características fisicoquímicas de los RFH

pH	6.02	Humedad %	90
g ST/g RFH	0.10	g SF/g RFH	0.008
g SV/g RFH	0.093	Carbohidratos (g/g ST)	0.647
Proteínas (g/g ST)	0.184	Fosforo (mg/g ST)	2.75
Nitrógeno (mg/g ST)	13.2	Densidad de empaque (g/L)	0.69
DQO (g/g ST)	1.24		

Características del inóculo anaerobio

La actividad metanogénica (AME) inicial del inóculo fue de $0.44 \text{ g DQO}_{\text{CH}_4} \cdot \text{g}^{-1} \text{ SSV} \cdot \text{d}^{-1}$. Después de 35 días de operación (etapa de arranque) la AME llegó a $0.88 \text{ g DQO}_{\text{CH}_4} \cdot \text{g}^{-1} \text{ SSV} \cdot \text{d}^{-1}$ y a esa AME se inició el proceso. Los incrementos de AME durante el arranque se muestran en la Figura 4. Por su parte la velocidad de sedimentación del inóculo fue de $19.68 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ y un IVL de $19 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \text{ SST}$, estos parámetros se encuentran dentro los intervalos establecidos para una correcta operación de reactores anaerobios de alta tasa: índice volumétrico de lodo entre 10 y $20 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1} \text{ SST}$; velocidad de sedimentación mayor a $10 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$, AME entre 0.5 y $1.5 \text{ g DQO} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{SSV} \cdot \text{d}^{-1}$ [11]

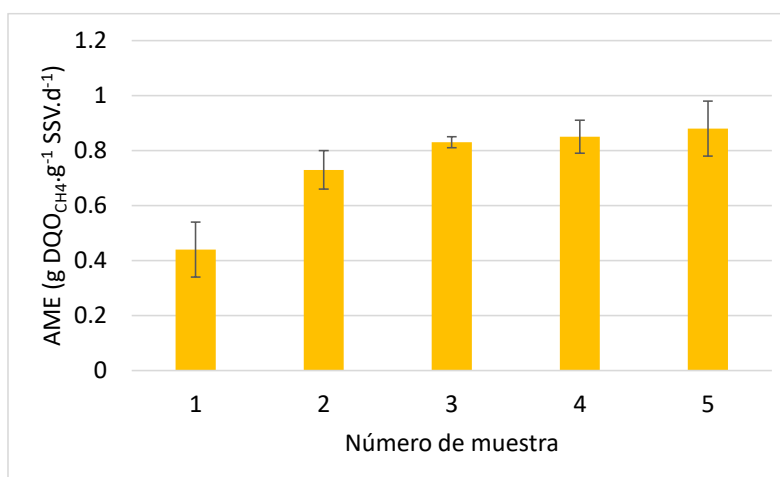


Figura 4. Variación de la actividad metanogénica (AME) durante la activación del inóculo. La muestra se tomó cada 7 días y las barras de error representan la desviación estándar de 5 experimentos independientes.

Evaluación de la operación del sistema de tratamiento

En la Figura 5 se observa la evolución de la carga orgánica de entrada al sistema (\bullet), salida del primer reactor anaerobio RAFA 1 (\circ) y la salida del segundo reactor anaerobio RAFA 2 (\circ). Este comportamiento nos permite determinar que para la carga de $4 \text{ g DQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ el segundo RAFA no se justifica ya que su remoción promedio es de 20 % con una desviación estándar de 19 %, lo que implica una alta inestabilidad. Los datos de la Figura 5 también nos permite establecer que para las cargas de $6 \text{ g DQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ y $9 \text{ g DQO} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, el RAFA 2 permite depurar el efluente de salida del RAFA 1, mantiene la salida del sistema alrededor de $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

(considerando un TRH promedio de 12 h). Para las cargas mayores se calculan eficiencias promedio en el RAFA 2 del $60 \% \pm 6 \%$ y $74 \% \pm 3 \%$.

El consorcio muestra una buena actividad, a pesar de que la temperatura promedio fue de $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y que presentó problemas de sedimentabilidad, pues los gránulos emigraban a la parte alta del reactor, este problema puede atribuirse a la buena productividad de biogás (Figura 6), aunque también puede deberse a que las ceras utilizadas en la conservación de la fruta se adhieren al granulo como se observó en los gránulos al microscopio. El problema con las ceras no ha sido reportado cuando la temperatura de digestión es de $35 \text{ }^\circ\text{C}$ [8,9,12,15] al tratar mezcla de RFH similares.

La Figura 6 muestra la producción de biogás en el RAFA 1, se observa como la productividad promedio a la carga de $4 \text{ g DQO}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ es de $1.3 \text{ L biogás}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ y para la carga de $6 \text{ g DQO}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ el promedio es de $1.5 \text{ L biogás}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$. Sin embargo, para la carga de $9 \text{ g DQO}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ se recupera la productividad a los niveles reportados para cuando la DA de RFH se da a $35 \text{ }^\circ\text{C}$ [15], la buena productividad puede estar asociada a la alta disponibilidad de sustrato en el sistema.

En la Figura 7 se observa una productividad menor, en el RAFA 2, que la reportada para este tipo de reactores tratando RFH a estas cargas. En el RAFA 2 se manifiesta el efecto de las bajas temperaturas de operación.

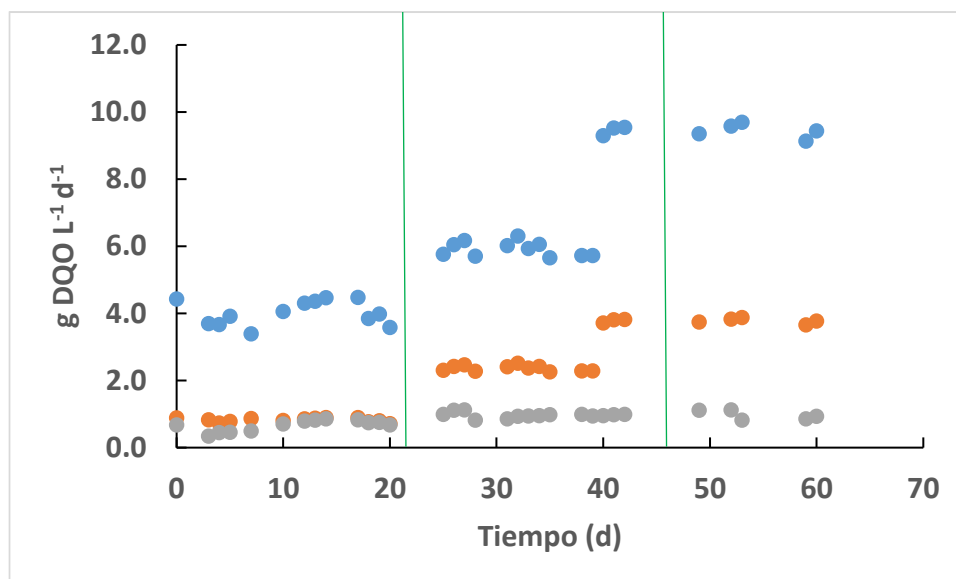


Figura 5. Carga orgánica a la entra del sistema (RAFA 1, ●) a la salida de RAFA 1 (●) y salida de RAFA 2 (●)

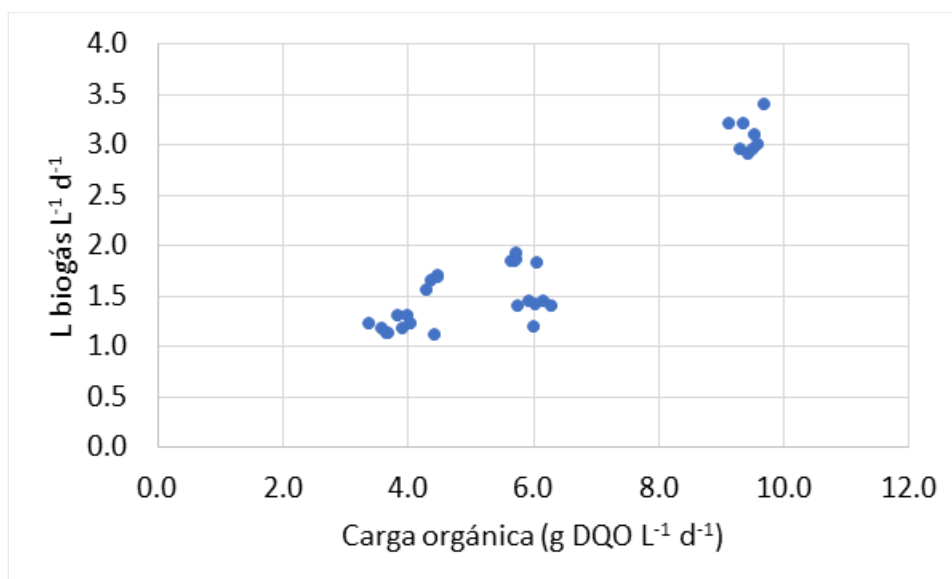


Figura 6 Producción de biogás en el RAFA 1

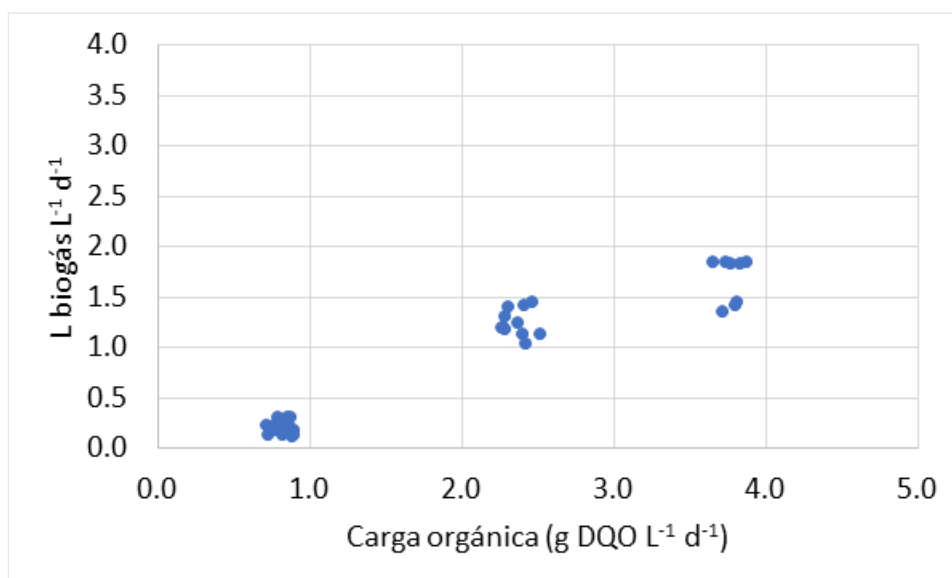


Figura 7. Producción de Biogás en el RAFA 2

Conclusiones

A cargas por arriba del 6 g DQO·L⁻¹·d⁻¹ el segundo RAFA permite depurar el efluente del primer reactor, aumentando la calidad del digestato líquido (menos carga de DQO a la salida) e incrementa la producción global de metano alrededor de 4 L biogás·L⁻¹·d⁻¹.

La eficiencia global de remoción de DQO llega a 84 % a cargas mayores de 6, representando hasta un 24 % adicional que cuando se usa solo un RAFA.

Trabajo a futuro

Determinar el balance energético y potencial de producción de biogás del sistema a temperaturas óptimas de la digestión anaerobia.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento, proyecto 14744.22-PD.

Referencias

- [1] SEMARNAT, "Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos". *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*, Ciudad de México, México, 2020.
- [2] T-H. Tsui, W. C. Wong, "A critical review: emerging bioeconomy and waste-to-energy technologies for sustainable municipal solid," *Waste Management*. Vol. 1, pp. 151-167, 10.1007/s42768-019-00013-z 2019
- [3] L. A. dos Santos, R. Beltrao Valença, L. C. Santos da Silva, S. H. de Barros Holanda, A. F. Viana da Silva, J. F. Thome Juca, A. F. Melo Sales Santos, "Methane generation potential through anaerobic digestion of fruit waste," *Journal of Cleaner Production* vol. 256, 120389, 2020.
- [4] A. Cioabla, L. Ionel, G-A. Dumitrel, F. Popescu, "Comparative study on factors affecting anaerobic digestion of agricultural vegetal residues," *Biotechnology for Biofuels*, vol. 5 pp.39, 2012.
- [5] H. J.El Achkara, L. Thomas, D. Salameh, N. Loukab, R. G. Marounb, J-L. Lanoiselléa, Z. Hobaikab. "Influence of pretreatment conditions on lignocellulosic fractions and methane production from grape pomace". *Bioresource Technology*, Vol. 247 pp. 881–889, 2018.
- [6] J. E. Jiménez-Rodríguez, F. J. Martínez-Valdez, R. Estrada-Martínez, O. Monroy-Hermosillo, G. Saucedo-Castañeda, F. Ramírez-Vives, "Effect of incubation conditions on the aerobic pretreatment of the organic solid wastes and the volatile fatty acids production," *Revista Mexicana de Ingeniería Química Vol. 19, No. 3 pp. 799-812, 2020.*
- [7] K. Feng, Li Huan, Z. Deng, Q. Wang, Y. Zhang, C. Zheng, "Influence of pretreatment conditions on lignocellulosic fractions and methane production from grape pomace,". *Renewable Energy*, Vol. 146 pp. 1588-1595, 2020.
- [8] M. M. Montes García, S. E. Viguera-Carmona, J. Pérez Vargas, G. Zafra Jiménez, A. Velasco Perez, C. K. Chang Solis, "Two-stage anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes". *Journal of Biotech Research*, vol. 10, pp. 29-37, 2019.
- [9] C. O. Zarate, M. M Montes, S. E. Viguera-Carmona, "Producción de digestato anaerobio a partir de residuos de frutas y verduras,". *Coloquio de Investigación Multidisciplinaria, CIM2020*. 2020.
- [10] J.Field, "Ensayos Anaerobios," *Process of on Wastewater Anaerobic Treatments*, Valladolid, Spain. 2002.
- [11] Monroy, O., & Noyola Robles, A., "Sistema de reactores anaerobios. En Procesos biológicos para tratamiento de aguas residuales," *Programa Universitario de Medio Ambiente*,. pp. 228-263, 1995.
- [12] J. Vian, S. E.Viguera-Carmona, A.Velasco Pérez, H. Puebla, "A Novel Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket Solid-State Reactor for the Treatment of Fruit and Vegetable Waste," *Environmental Engineering Science*, Vol. 37, No. 5, pp. 373-381. 10.1089/ees.2019.0369/ 2020.
- [13] M. S. Montalvo, S., L. Guerrero. "Tratamiento Anaerobio de Residuos." Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, 2013.
- [14] Claire Dumasa, Gabriela Silva Ghizzi Damasceno, Barakat Abdellatif, Hélène Carrèrea, Jean-Philippe Steyera, Xavier Rouauc, "Effects of grinding processes on anaerobic digestion of wheat straw" *Industrial Crops and Products*, Vol. 74 pp450–456, 2015.
- [15] M. Zia, S. Ahmed, A Kumar, "Anaerobic digestion (AD) of fruit and vegetable market waste (FVMW): potential of FVMW, bioreactor performance, co-substrates, and pre-treatment techniques" *Biomass Conversion and Bio*, DOI: 0.1007/s13399-020-00979-5, 2020.

Co-microencapsulación de curcumina-aceite de chía mediante secado por aspersión: caracterización y digestión *in vitro*

L. del C Velasco-Rodríguez¹, V. Merlin-Martínez², M. Guevara-Valencia², H. S. García-Galindo¹, M. P. Rascón -Díaz^{*2}.

¹UNIDA Tecnológico Nacional de México/IT de Veracruz M.A. de Quevedo 2779, Col. Formando Hogar, Veracruz Ver. 91897, México.

²Facultad de Ciencias Químicas Universidad Veracruzana Prolongación Oriente Orizaba Ver. 94340, México.

* mrascon@uv.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En este estudio se busca la encapsulación de curcumina en aceite de chía a través de emulsiones O/W, empleando Goma Arábiga (GA) y Maltodextrina 10 DE (MD) como materiales de pared para ser secadas por aspersión. Los tamaños de gota de las emulsiones de GA y MD fueron de 31.18 ± 3.9 y $60.36 \mu\text{m}$ respectivamente. En la caracterización de las microcápsulas. En términos de tamaño, las microcápsulas de GA y MD presentaron una distribución del 90% (D90) del 13.4 y $9.81 \mu\text{m}$ respectivamente. A través de CG-FID se identificó un mayor contenido de n-3 en las cápsulas de GA con 49.41 ± 6.2 . Mediante de un estudio de digestión *in vitro* se determinó que las microcápsulas de GA confieren una mayor protección de la fracción lipídica favoreciendo, su bioaccesibilidad.

Palabras clave: Aceite de chía, curcumina, secado por aspersión y digestión *in vitro*.

Abstract

*In this study, the encapsulation of curcumin in chia oil through O/W emulsions using Gum Arabic (GA) and Maltodextrin 10 DE (MD) as wall materials to be spray dried. The droplet sizes of GA and MD emulsions were 31.18 ± 3.9 and $60.36 \mu\text{m}$ respectively. On the characterization of the microcapsules. In terms of size, GA and MD microcapsules presented a 90% distribution (D90) of 13.4 and $9.81 \mu\text{m}$ respectively. Through GC-FID, a higher n-3 content was identified in GA capsules with 49.41 ± 6.2 . Through an *in vitro* digestion study, it was determined that GA microcapsules confer greater protection of the lipid fraction, favoring its bioaccessibility.*

Key words: Chia oil, curcumin, spray drying and *in vitro* digestion.

Introducción

Actualmente existe una creciente necesidad de producir aditivos alimenticios con propiedades benéficas a la salud. Una de las deficiencias en la alimentación común en la dieta occidental, es la baja ingesta de ácidos grasos omega-3 (n-3), involucrados en el funcionamiento del sistema nervioso central y cardiovascular [1]. En ese sentido, el aceite de chía ha surgido como una fuente importante de este tipo de ácidos grasos, los cuales son esenciales en la alimentación ya que ayudan en disminuir las afecciones cardiovasculares, hipertensión, diabetes, artritis, enfermedades inflamatorias y trastornos autoinmunitarios, además, la chía ha demostrado ser más rica en proteínas y aceite que otros granos. El aceite de chía también contiene un bajo porcentaje de ácidos grasos saturados, sin embargo, tienen baja estabilidad oxidativa, además la oxidación de PUFA da como resultado la generación de compuestos volátiles [2],[3].

Por otro lado, la curcumina es un polifenol aislado del rizoma *Curcuma Longa*, el cual ha alcanzado gran relevancia en los últimos años debido a sus propiedades biológicas, tales como antioxidante, antitumoral, antiinflamatorio, se ha comprobado su bioactividad en enfermedades neurodegenerativas como Alzheimer y Parkinson, sin embargo, la biodisponibilidad y bioaccesibilidad de la curcumina se ve comprometida por su baja

solubilidad en agua, eliminándose así, la mayor parte por vía hepática [4], [5]. Para solucionar esta problemática se han empleado sistemas acarreadores como las emulsiones[6]–[8]. Dada la sensibilidad de los ácidos grasos y la curcumina a factores ambientales, tales como la luz, el oxígeno y la temperatura, se emplean métodos de encapsulación como los sistemas coloidales que pueden ser las emulsiones, las cuales constan de dos fases inmiscibles entre sí estabilizadas por un surfactante. Otro método es el proceso de secado por aspersión empleando hidrocoloides como materiales de pared. Estas dos técnicas han sido empleadas en conjunto para encapsular y proteger compuestos liposolubles y aceites termolábiles[9].

Metodología

Materiales

Maltodextrina 10 DE y Goma Arábica fueron adquiridos a través de Ingredion™, Tween 80 Sigma-Aldrich®, curcumina de microingredientes®. Aceite de chía Enature®, Agua destilada. N,N Dimetil formamida Sigma-Aldrich®, metóxido de sodio 0.5 M en metanol Sigma-Aldrich®. Carbonato de calcio Golden Bell. Los solventes para cromatografía de gases fueron comprados en VWR International (Radnor, PA, USA).

Prueba de solubilidad de la curcumina en el aceite de chía

Para la determinación del límite de concentración de curcumina que se puede incorporar al aceite de chía y con ello evitar un proceso de inestabilidad en la emulsión como es el efecto de precipitación, para ello, se establecieron cuatro niveles de concentraciones de curcumina de 0.25, 0.5, 1 y 1.5 mg/g de aceite. Para ello, se pesó en un vaso de precipitados de 30 mL la cantidad correspondiente de curcumina, posteriormente para su solubilización fue agregado 5 mL de etanol grado reactivo; una vez disuelta correctamente la curcumina, se añadió al mismo vaso 1 gramo de aceite de chía, esta mezcla fue homogeneizada en baño maría hasta la completa evaporación del etanol y obtener un complejo curcumina-aceite de chía.

Elaboración de las emulsiones

Se prepararon emulsiones 10:90 aceite en agua destilada (O/W) empleando el complejo curcumina-aceite de chía previamente detallado como fase oleosa (fase dispersa). De acuerdo con la metodología de Firtin et al., 2020 [3] con algunas modificaciones. Para la elaboración de la fase continua, se preparó una solución al 30% de sólidos por grados brix solubles de MD o GA y se mantuvo a 4°C durante toda la noche para su correcta dilución y eliminación de espuma. El surfactante empleado fue 2% de Tween 80 previamente solubilizado en la fase continua el día de su uso. Antes de la elaboración de las emulsiones, la fase continua y la fase dispersa se equilibraron a temperatura ambiente. A continuación, la fase continua se mantuvo en agitación suave a 150 rpm y se vertió progresivamente, una vez integradas las dos fases, para la formación de la emulsión, se homogeneizó a 2800 rpm por 10 min en un homogeneizador convencional, Truper, México).

Análisis de tamaño de partícula de las emulsiones por microscopio óptico

Para determinar el tamaño de partícula de las emulsiones obtenidas se realizó a través de un microscopio óptico Motic BA-210 (Motic China Group Co. Ltd., Hong Kong, China). Una gota de la emulsión formada se colocó en un portaobjetos y se recolectaron fotografías de 100 campos aleatoriamente para la medición del diámetro de las micelas con el software Motic Image Plus 2.0.

Índice de cremado

Para la evaluación de la estabilidad de la emulsión, se realizó la prueba de índice de cremado (%IC) de acuerdo con lo reportado por [3]. El índice de cremado se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\%IC = \frac{V}{V_0}$$

Donde % IC es el porcentaje de cremado, V0 indica el volumen inicial de la emulsión recién preparada y V es el volumen de la fracción formada en el proceso de cremado.

Secado por aspersión de las emulsiones

Inmediatamente después de la elaboración de las emulsiones, se realizó el proceso de secado en un secador por aspersión (Büchi B-290, Suiza) con una temperatura de entrada de 150 °C, temperatura de salida de 90 °C flujo de aire 40 mL/min.

Tamaño de partícula de los polvos

Las microcápsulas fueron dispersadas en agua Milli-Q para ser medidas por un analizador de tamaños de partícula (Mastersizer 2000-Malvern Instruments, England), los resultados fueron expresados como D90 que representa la distribución de tamaño del 90% de las partículas [10].

Caracterización de ácidos grasos por Cromatografía de Gases-FID

Se realizó un método de transmetilación de ácidos grasos totales del aceite obtenido siguiendo las mejores condiciones de [11] con ligeras modificaciones: 5 mg de la fracción oleosa extraída de las microcápsulas mediante una extracción Folch, es mezclado con 1.25 mL de metóxido de sodio 0.5 M en metanol, e incubado a 80 °C por 10 minutos y se detuvo la reacción en un baño de hielo. A continuación, se agregó a la reacción 1 mL de dimetilformamida y 1.5 mL de H₂SO₄ 1M en metanol y se incubó a 60°C por 60 minutos, y se detuvo la reacción en baño de hielo. Se agregó a la reacción 2.5 mL de una solución de NaCO₃ a una concentración de 90 g/L en agua Milli-Q, se centrifugó a 3500 rpm durante 10 minutos y se transfirió el sobrenadante a un vial de cromatografía de gases. Los ácidos grasos obtenidos de la transmetilación fueron analizados en un cromatógrafo de gases (CG) HP6890 equipado con una columna capilar HP-INNOWax (60 m x 0.25 mm x 0.25 mm espesor de película) y un detector de ionización de flama (FID).

Digestión *in vitro* de las microcápsulas

Preparación de la solución basal salina:

Se preparó la solución basal salina, para esta se necesitaron los reactivos NaCl 140 mM, KCl 5 mM y BHT 150 µM (en metanol), todas las soluciones se prepararon para 100 mL. Se realizó una dilución en partes iguales en donde se tomaron 5 mL de cada solución hecha anteriormente para formar la solución basal salina. Posteriormente se procedió a pesar en un vaso de precipitados 1g de polvos. 13.5 mL de solución basal salina fueron agregados a la muestra, se agitó durante 10 minutos o hasta su completa disolución en baño maría a 37°C.

Preparación de fase gástrica:

Para preparar los fluidos gástricos simulados (CGF) se pesó 0.032 g de pepsina y se le agregó 10 mL de HCl 1 M. Posteriormente, se ajustó el pH a 2.0 ± 0.1 con NaOH 1 M y HCl 1 M, Para realizar la simulación estomacal se procedió a incubar por 1h a 37 °C.

Preparación de fase intestinal:

Posterior a la incubación se volvió a ajustar el pH, pero a 7.5 para simular la fase intestinal, esto dentro del baño maría para no perder temperatura. Anterior a eso se preparó el SIF (líquido intestinal simulado) en donde se midieron 5 mL de solución buffer (pH 7.4) con 0.0238 g de pancreatina y 0.0258 g de bilis de los cuales se tomaron 4.5 mL para agregarlo a la solución que se preparó primero y en el mismo baño se ajustó el pH a 7.5 de nuevo.

Posterior a eso se procedió a realizar una titulación con NaOH 0.1 M por dos horas, tomando alícuotas cada 20 minutos (Liang-Rong et al., 2013). Mediante la siguiente fórmula y valores, se determinaron los ácidos grasos libres los cuales mediante la simulación gástrica se fueron liberando.

$$\% \text{ de FFS liberados} = \frac{V \times \text{NaOH}(t) \times C_{\text{NaOH}} \times M_w, \text{lipid}}{2 \times m \text{ lipid}} \times 100$$

Donde: m_{lipid} : masa total presente en la muestra durante la digestión (g). Mw_{lipid} : peso molecular medio del lípido (g/mol). C_{NaOH} : concentración de NaOH en la bureta de titulación (mol/ 1000cm³). V_{NaOH} (t): volumen de NaOH titulado en el recipiente de reacción en el momento de la digestión (Liang-Rong et al., 2013).

Análisis estadístico

Todos los análisis se realizaron por triplicado y empleando un análisis ANOVA de un factor para las comparaciones estadísticas con el programa de análisis de datos Minitab 16 statistical Software.

Resultados y discusión

Prueba de solubilidad de la curcumina en el aceite de chía

Conocer la solubilidad de la curcumina es importante debido a que presenta diferentes perfiles de solubilidad dependiendo del solvente utilizado. Siendo poco soluble en solventes polares y mayormente en no polares como el aceite. En este estudio se realizó un barrido de solubilidad de diferentes concentraciones de curcumina por gramos de aceite de chía para definir la concentración de curcumina a incorporar en las emulsiones posteriormente elaboradas sin presentar fenómenos de inestabilidad como la sedimentación. En la figura 1 se observa los incrementos de la absorbancia correspondiente a los incrementos en la concentración.

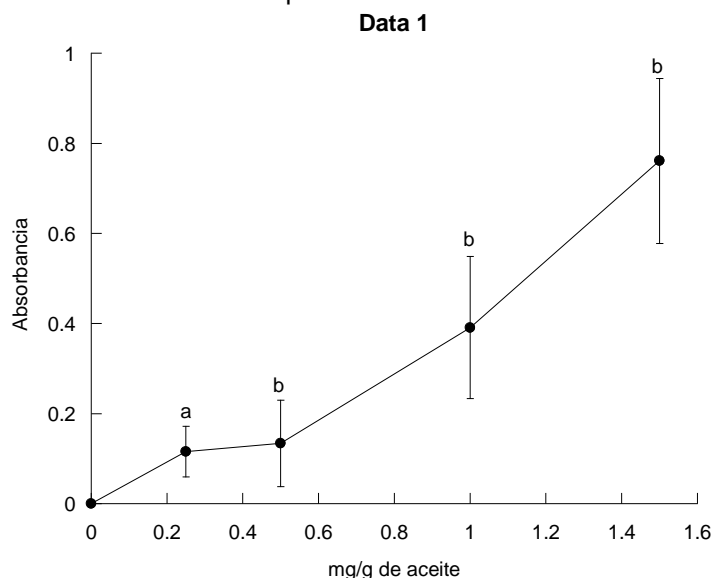


Figura 1: Solubilidad de la curcumina en el aceite de chía

Partiendo que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración, mientras que se mantengan los valores de absorbancia por debajo de 1 para seguir la ley de Lambert y Beer; se realizó la incorporación de diferentes concentraciones conocidas de curcumina en un gramo de aceite (0.25, 0.5, 1, 1.5 mg de curcumina en 1 gramo de aceite de chía) y se leyeron las absorbancias mediante un espectrofotómetro, siendo todas por debajo de 1 de absorbancia. Se observa que a aumentos de concentración de curcumina existe un incremento en la absorbancia. A través de un análisis ANOVA de un factor no se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$), esto es interesante dado que se han reportado emulsiones (O/W) con concentraciones de 0.1 mg/g triacilglicéridos de cadena media [12], [13] debido que, a mayor cantidad de curcumina en el medio, se favorece la precipitación que a la solubilización por una saturación en el aceite. Sin embargo, Esperón-Rojas *et al.*, (2020) reporta un contenido de curcumina de 2.5 mg/g de aceite formulando emulsiones estables, esto es un indicador de que además de la matriz oleosa empleada, es de gran importancia el surfactante utilizado para la formación de la emulsión. En nuestro estudio, se obtiene una tendencia creciente de la incorporación de la curcumina al aceite, sin observarse una baja en la tendencia debido a la precipitación de curcumina no soluble. Por lo tanto, se decidió trabajar con una concentración de curcumina de 1.6 mg/g de aceite para la formulación de emulsiones, con el objetivo de prevenir inestabilidad en la matriz oleosa.

Análisis de tamaño de partícula de las emulsiones por microscopio óptico

A través del análisis de imagen, se obtuvo un tamaño promedio de partícula de $31.18 \pm 3.9 \mu\text{m}$ para GA y de 60.36 ± 7.83 para MD. De acuerdo con Meena et al., (2021) [14], los autores obtuvieron tamaños de $0.5 \mu\text{m}$ para las emulsiones realizadas con Goma arábica, esta diferencia puede deberse a los métodos de homogeneización empleados; los autores emplearon como método de alta energía un homogeneizador a 20,000 rpm, lo que supone un efecto de cizalla más efectivo en comparación a este estudio donde se empleó un rotor a 2800 rpm. La diferencia en los tamaños entre las emulsiones es atribuida a la naturaleza de los materiales de pared empleados, puesto que la GA describe tener propiedades interfaciales por lo que ha sido empleada en la formulación de emulsiones Pickering o emulsiones dispuestas a ser secadas por aspersión, gracias a su capacidad de encapsulación [15].

Índice de cremado

El índice de cremado es una forma de inestabilidad regida por la gravedad. El cremado define el movimiento ascendente de las gotas debido a que tienen una densidad inferior a la del líquido circundante, en nuestro caso, el complejo aceite de chía-curcumina [16]. La separación de las fases involucra un efecto de coalescencia y aumento de tamaño de las gotas de la fase dispersa a través del tiempo, en un proceso irreversible. La propiedad de separación de las fases está relacionada con el tamaño de partículas de las gotas, particularmente con una polidispersidad alta, y el método de preparación. El %IC para las dos emulsiones MD y GA fue del 10%, esto quiere decir que al cabo de 24 horas la emulsión regresa a un estado termodinámicamente estable, dado que las fases dispersa y continua han sido separadas por completo, llegando a un estado de equilibrio. Lo anterior no supone un problema, puesto que las emulsiones están diseñadas para mantenerse estables al menos durante el proceso de secado que se realiza inmediatamente después de su elaboración. Cabe mencionar que, a pesar de que no hubo diferencias encontradas en el índice de cremado entre MD y GA, muchas veces en la industria es preferido el uso de GA como material de encapsulación debido a sus propiedades emulsificantes.

Tamaño de partícula de los polvos

La distribución del tamaño de partícula fue en base al área superficial a través de un equipo Mastersizer 3000, el cual utiliza la técnica de difracción láser para medir el tamaño y la distribución de tamaño de partícula, a través de la medición de la intensidad de la luz, que se dispersa cuando el haz del láser pasa a través de una muestra de partículas. En la figura 2 se muestra la distribución del área superficial de las microcápsulas secadas por aspersión con GA y MD como material de pared. De acuerdo con los datos obtenidos se pudieron obtener las distribuciones de tamaño D90, D50 y D10% de las partículas: D90 $13.4 \mu\text{m}$, D50 $0.629 \mu\text{m}$ y D10 $0.181 \mu\text{m}$. Lo anterior quiere decir que el 90% de las partículas se encuentran por debajo de los $13.4 \mu\text{m}$. Las distribuciones de tamaño obtenidas para las microcápsulas de MD fueron: D90 $9.81 \mu\text{m}$, D50 $0.438 \mu\text{m}$ y D10 $0.160 \mu\text{m}$. Lo anterior quiere decir que el 90% de las partículas se encuentran por debajo de los $9.81 \mu\text{m}$. Distribuciones similares fueron reportadas por Guo et al., (2020) [17], los autores reportan dispersiones de tamaños de microcápsulas de GA secadas por aspersión por debajo de $100 \mu\text{m}$, lo que supone que el tamaño de las partículas sólidas depende del método de secado. Además, dados los resultados, podemos predecir que el área superficial de las microcápsulas de MD sea mas alta que las microcápsulas de GA derivado de sus tamaños de partícula, lo anterior puede influir en el proceso de digestión, puesto que, al tener mayor área superficial, tiene mayor contacto con las enzimas, favoreciendo de este modo la disrupción de la microcápsula.

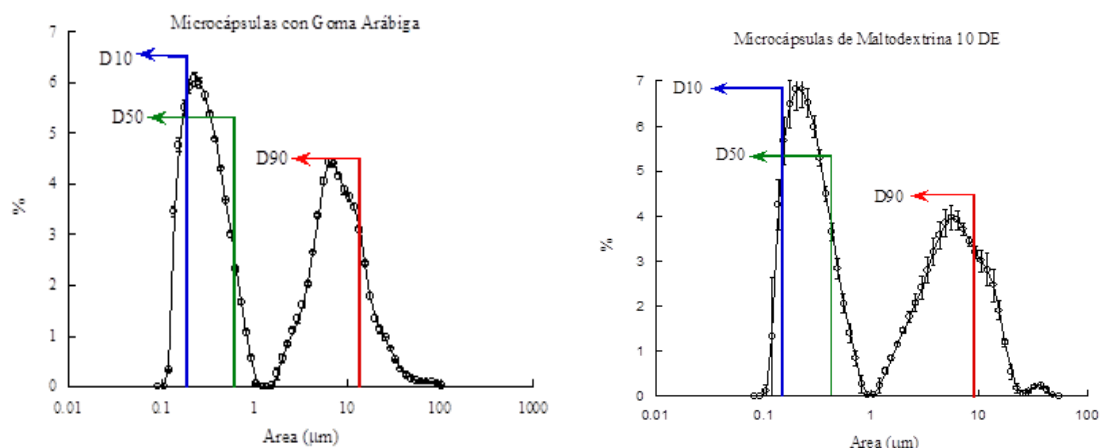


Figura 2: Distribución del tamaño del área superficial de las microcápsulas secadas por aspersión de Goma arábica y Maltodextrina

Caracterización de ácidos grasos por Cromatografía de Gases-FID

Se encontró la presencia de ácido palmítico (C16:0), ácido esteárico (C18:0), ácido oleico (C18:1, n-9), ácido linoleico (C18:2, n-6) ácido linoléico (C18:3, n-3). Este perfil lipídico es comúnmente encontrado en fuentes vegetales. El perfil lipídico, comúnmente reportado del aceite de chía muestra ser rico en ácido linoléico, ácido omega-3 encontrado principalmente en fuentes vegetales. Es importante remarcar que la principal fuente de alimentación de omega-3 para el hombre es a través de fuentes marinas, como el aceite de pescado, aceite de krill y aceite de algas. No obstante, recientemente ha cobrado interés el aceite de chía como fuente vegetal y alternativa para abastecer la necesidad de estos ácidos grasos esenciales en la alimentación diaria. Ullah et al., (2020) reportan la presencia de los mismos ácidos grasos encontrados en este estudio, sin embargo, se obtuvieron diferencias en la distribución de estos en las microcápsulas de GA y MD (tabla 1) esto puede deberse a que la encapsulación con GA protege de manera más efectiva al aceite encapsulado, evitando así su degradación en el proceso de secado, evitando así la degradación de los ácidos grasos poliinsaturados, los cuales son más lábiles a factores como la temperatura. Es sabido que los ácidos grasos con más insaturaciones son los primeros en verse afectados por factores como la temperatura, bajo este esquema, el C18:3 presente en las microcápsulas de MD están expuestas a la degradación térmica perdiendo insaturaciones, adquiriendo la estructura saturada de un ácido oleico, por lo que se observa un aumento de este ácido graso y una disminución de linoléico [18].

Tabla 1. Perfil de ácidos grasos para las microcápsulas de Goma Arábica y Maltodextrina

Ácido graso	% GA	% MD
C16:0	12.51 ± 1.0 ^a	30.68 ± 1.44 ^b
C18:0	3.33 ± 1.6 ^a	11.02 ± 0.29 ^b
C18:1, (n-9)	18.35 ± 9.8 ^a	28.88 ± 2.68 ^a
C18:2, (n-6)	14.46 ± 5.1 ^a	5.51 ± 0.38 ^a
C18:3, (n-3)	49.41 ± 6.2 ^a	14.80 ± 0.31 ^b

Digestión *in vitro* de las microcápsulas

La actividad biológica de los compuestos fenólicos o cualquier molécula con actividad biológica está estrechamente relacionada con su capacidad de llegar en condiciones favorables, hablando estructuralmente, al intestino delgado donde se lleva a cabo la absorción de nutrientes, cualidad también llamada bioaccesibilidad. No obstante, existen compuestos que no son estables y no se absorben de manera correcta, debido a distintos

factores como pH, temperatura, presencia de enzimas, microbiota intestinal, por mencionar algunos [19]. Por ello, en los últimos años se han desarrollado y/o actualizados métodos para simular la digestión en un método *in vivo*. Para evaluar la digestión de los polvos de MD y GA se realizaron duplicados obtenidos del secado por aspersion. Todos los análisis se realizaron con 1g de microcápsulas de curcumina-aceite de chía.

En la figura 2 podemos observar que en las microcápsulas elaboradas con GA existe una completa digestión del aceite, siendo hidrolizados de manera más eficiente en comparación a las microcápsulas de MD, donde se observa que el proceso de digestión no supera el 30% de FFA (ácidos grasos libres) al cabo de 120 minutos. Liang et al., (2013) observaron una tendencia similar a nuestro estudio, los autores explican que existe una relación entre el área superficial y la digestión, es decir, partículas con mayor área superficial tienen un mayor contacto con las lipasas favoreciendo su completa hidrólisis. Por otro lado, la MD es un polisacárido altamente soluble en agua, por lo tanto, desde la fase salivar éstas empiezan a romperse, dejando el aceite expuesto, y una vez en la fase intestinal, el aceite ya ha sido liberado por completo, esto pudiera ocasionar que la microcápsula no este protegiendo al compuesto encapsulado desde los inicios de la digestión. Para la digestión de la curcumina con MD, esto resulta negativo, debido a que puede ser degradada desde el inicio de la digestión derivado a los cambios de pH, de modo que, al llegar a intestino, ya no se encuentre en su forma bioactiva. Por el contrario, las microcápsulas de GA mantienen hasta cierto punto su estructura en el proceso de digestión, posiblemente asociado a su propiedad emulsificante y de formador de películas, ésta última es una cualidad que brinda protección del agente encapsulado a lo largo de la digestión, promoviendo así una liberación controlada del aceite, y permitiendo a las lipasas tener un mayor contacto con el sustrato, de este modo, una vez en el intestino delgado, puedan ser absorbidas por el enterocito. Se concluye que la GA es capaz de conservar la integridad de los ácidos grasos encapsulados, y por lo tanto, también de la curcumina que se encuentra unida al aceite. aumentando su bioaccesibilidad en el proceso de digestión, es decir, preserva la estructura y con ello su actividad biológica.

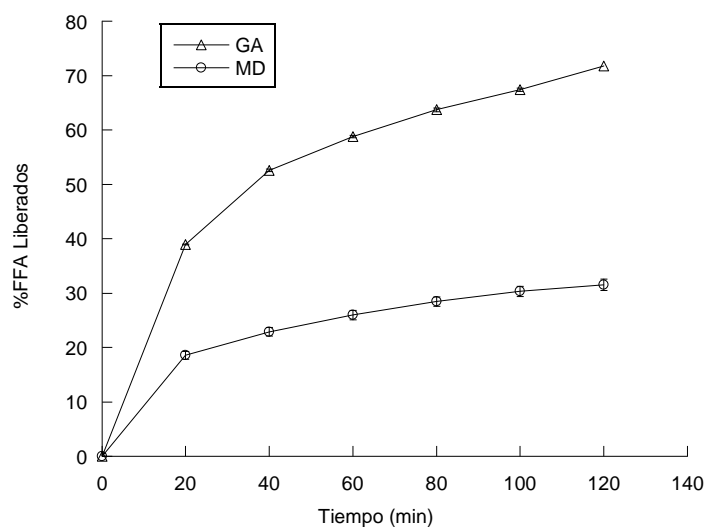


Figura 2: Ácidos grasos liberados durante la digestión de las microcápsulas de Goma Arábiga y Maltodextrina

Trabajo a futuro

Dando continuidad al presente estudio, se buscará complementar la caracterización de los polvos con estudios de temperatura de transición vítrea (t_g), el estudio del efecto protector del material de pared sobre la degradación de ácidos grasos en diferentes condiciones de almacenamiento tales como a_w y temperatura, en términos de actividad antioxidante (ABTS), producción de hidroperóxidos y TBARS, los dos últimos enfocados a la cuantificación de productos de la peroxidación lipídica.

Conclusiones

A través de la caracterización realizada, se determinó que el material de pared óptimo para la encapsulación de emulsiones como sistemas acarreadores de compuestos bioactivos, es la goma arábiga. Puesto que posee propiedades emulsificantes y logra formar una cápsula más eficiente en cuanto a la encapsulación de compuestos lipídicos, preservando de mejor manera la integridad de los ácidos grasos lábiles como los poliinsaturados a lo largo del proceso de secado en donde son empleadas altas temperaturas, de esta manera se cumple el objetivo de mantener sus propiedades biológicas propias de este tipo de ácidos grasos, aunado a garantizar la bioaccesibilidad de estos ácidos grasos durante la digestión simulada.

Agradecimientos

Agradecemos a la Facultad de Ciencias Químicas, Campus Orizaba, Universidad Veracruzana, por proveer de reactivos e instalaciones para el desarrollo de este proyecto. Además, los autores agradecen el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACyT) a través de la beca 250784

Referencias

- [1] C. C. C. R. De Carvalho and M. J. Caramujo, "The various roles of fatty acids," *Molecules*, vol. 23, no. 10, 2018, doi: 10.3390/molecules23102583.
- [2] R. Ullah *et al.*, "Effect of microcapsules of chia oil on Ω -3 fatty acids, antioxidant characteristics and oxidative stability of butter," pp. 1–10, 2020.
- [3] B. Firtin, H. Yenipazar, A. Saygün, and Sahin-Yesilçubuk, "Encapsulation of chia seed oil with curcumin and investigation of release behaviour & antioxidant properties of microcapsules during in vitro digestion studies," *Food Sci. Technol.*, vol. 134, no. January, 2020, doi: doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109947.
- [4] W. Liu *et al.*, "Oral bioavailability of curcumin: problems and advancements," *J. Drug Target.*, vol. 24, no. 8, pp. 694–702, 2016, doi: 10.3109/1061186X.2016.1157883.
- [5] Q. Q. Yang *et al.*, "Phenolic profiles, antioxidant, and antiproliferative activities of turmeric (*Curcuma longa*)," *Ind. Crops Prod.*, vol. 152, no. May, p. 112561, 2020, doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112561.
- [6] A. A. Ochoa-Flores *et al.*, "Enhanced Bioavailability of Curcumin Nanoemulsions Stabilized with Phosphatidylcholine Modified with Medium Chain Fatty Acids," *Curr. Drug Deliv.*, vol. 14, no. 3, pp. 377–385, 2017, doi: 10.2174/1567201813666160919142811.
- [7] R. Chávez-Zamudio, A. A. Ochoa-Flores, I. Soto-Rodríguez, R. Garcia-Varela, and H. S. García, "Preparation, characterization and bioavailability by oral administration of O/W curcumin nanoemulsions stabilized with lysophosphatidylcholine," *Food Funct.*, vol. 8, no. 9, pp. 3346–3354, 2017, doi: 10.1039/c7fo00933j.
- [8] A. A. Esperón-Rojas, R. Baeza-Jiménez, D. Santos-Luna, L. del C. Velasco-Rodríguez, L. R. Ochoa-Rodríguez, and H. S. García, "Bioavailability of curcumin in nanoemulsions stabilized with mono- and diacylglycerols structured with conjugated linoleic acid and n-3 fatty acids," *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, vol. 26, no. May, p. 101638, 2020, doi: 10.1016/j.bcab.2020.101638.
- [9] C. Zhang, S. L. A. Khoo, P. Swedlund, Y. Ogawa, Y. Shan, and S. Y. Quek, "Fabrication of spray-dried microcapsules containing noni juice using blends of maltodextrin and gum acacia: physicochemical properties of powders and bioaccessibility of bioactives during in vitro digestion," *Foods*, vol. 9, no. 9, pp. 1–17, 2020, doi: 10.3390/foods9091316.
- [10] Y. Shi *et al.*, "Quality evaluation of peony seed oil spray-dried in different combinations of wall materials during encapsulation and storage," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 53, no. 6, pp. 2597–2605, 2016, doi: 10.1007/s13197-016-2225-9.
- [11] L. M. Rodríguez-Alcalá, M. V. Calvo, and J. Fontecha, "A quick, optimized method for routine analysis of essential and trans-octadecenoic acids in edible fats and oils by GLC," *J. Chromatogr. Sci.*, vol. 51, no. 1, pp. 70–81, 2013, doi: 10.1093/chromsci/bms109.
- [12] M. Kharat, M. Skrzynski, E. A. Decker, and D. J. McClements, "Enhancement of chemical stability of curcumin-enriched oil-in-water emulsions: Impact of antioxidant type and concentration," *Food Chem.*, vol. 320, no. December 2019, p. 126653, 2020, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126653.
- [13] P. Ma *et al.*, "Development of stable curcumin nanoemulsions: effects of emulsifier type and surfactant-to-oil ratios," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 55, no. 9, pp. 3485–3497, 2018, doi: 10.1007/s13197-018-3273-0.
- [14] S. Meena, W. Prasad, K. Khamrui, S. Mandal, and S. Bhat, "Preparation of spray-dried curcumin microcapsules using a blend of whey protein with maltodextrin and gum arabica and its in-vitro digestibility evaluation," *Food Biosci.*, vol. 41, no. March, p. 100990, 2021, doi: 10.1016/j.fbio.2021.100990.
- [15] J. Han, F. Chen, C. Gao, Y. Zhang, and X. Tang, "Environmental stability and curcumin release properties

- of Pickering emulsion stabilized by chitosan/gum arabic nanoparticles," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 157, pp. 202–211, 2020, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.04.177.
- [16] D. J. McClements, *Food Emulsions*. 2016.
- [17] J. Guo, P. Li, L. Kong, and B. Xu, "Microencapsulation of curcumin by spray drying and freeze drying," *Lwt*, vol. 132, no. July, p. 109892, 2020, doi: 10.1016/j.lwt.2020.109892.
- [18] J. J. Barajas Gómez *et al.*, "Estudio de la degradación de ácidos grasos sometidos a estrés térmico," *Investig. y Desarro. en Cienc. y Tecnol. Aliment.*, vol. 1, no. 1, pp. 14–19, 2016.
- [19] C. A. Zampedri, P. A. Zampedri, O. Scattolaro, L. M. Zapata, and J. M. Castagnini, "Evaluación de la biodisponibilidad in vitro de compuestos bioactivos de arándanos," *Ciencia, Docencia y Tecnol.*, vol. 29, no. Vol29No57, pp. 285–295, 2018, doi: 10.33255/2957/320.

Efecto de filtrados de *Trichoderma* en la germinación de semillas de café *in vitro*

M. del S. Osorio-Carrillo¹, J. M. López-Medina, M. I. Montero-Cortes¹, J. A. Qui-Zapata^{2*}, J. C. López-Velázquez

¹Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tlajomulco, Km 10 carretera Tlajomulco - San Miguel Cuyutlán, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco C.P. 45640, México.

²Unidad de Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C., Camino Arenero 1227, El Bajío. C.P. 45019 Zapopan, Jalisco México

*iqui@ciatej.mx,

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Una limitante para la producción de café es la existencia de cultivos seniles, para sustituir estas plantaciones se busca una alternativa que ayude a optimizar la germinación de las semillas y generar un mayor número de plantas. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de tratamientos pre-germinativos y la aplicación de diferentes filtrados de *Trichoderma* que se colocaron en condiciones *in vitro*. Se calculó el porcentaje y la velocidad de germinación por un periodo de 18 días. La adición de los filtrados de *Trichoderma* aumentaron el porcentaje de germinación de las semillas hasta un 87.5% con uno de los filtrados y el índice de velocidad de germinación aumentó hasta 8.53 ^{SG}/_{Día} con otro filtrado. Se concluye que la aplicación de los filtrados de *Trichoderma* dependiendo de la cepa, aumentaron el porcentaje de germinación o el índice de velocidad de germinación, aunque no ambos.

Palabras clave: Germinación, *Trichoderma*, cultivo *in vitro*, semilla

Abstract

A limitation for coffee production is the existence of senile crops, to replace these plantations an alternative is sought that helps optimize seed germination and generate a greater number of plants. The objective of this work was to evaluate the effect of pre-germination treatments and the application of different *Trichoderma* filtrates that were placed under *in vitro* conditions. The percentage and speed of germination were calculated for a period of 18 days. The addition of the *Trichoderma* filtrates increased the germination percentage of the seeds up to 87.5% with one of the filtrates and the rate of germination rate increased up to 8.53 SG/Day with another filtrate. It is concluded that the application of *Trichoderma* filtrates, depending on the strain, increased the germination percentage or the germination speed index, although not both.

Key words: Germination, *Trichoderma*, *in vitro* culture, seed

Introducción

El café es un cultivo tradicional, básico y estratégico con más de doscientos años de estar presente en la agricultura nacional. El cafeto de la variedad arábica (*Coffea arábica*) es un arbusto grande con hojas ovaladas de color verde oscuro. Su fruto es ovalado y tarda en madurar de 7 a 9 meses. Este cultivo se hace predominante con sistema de producción bajo sombra, requiere de un clima cálido con alto nivel de humedad, su altitud debe ser de 1,000 a 2,000 msnm y una temperatura de entre 18 y 22 °C [1].

A nivel mundial los principales productores son Brasil, Vietnam y Colombia con un 35.9%, 18.6% y 8.4% respectivamente, en el que México ocupa el décimo lugar con una producción de 2.2%. El café es considerado un cultivo prioritario en México, con cadenas productivas integradas y generación de empleo tanto para mexicanos como para migrantes centroamericanos. El café es fundamental para el sustento de muchos pequeños productores, el 90 por ciento de los caficultores son de pequeña escala, es decir, tienen menos de 2 hectáreas y el 65 por ciento pertenecen a municipios con población indígena y el 37 por ciento son mujeres. México es el décimo mayor productor de café y representa más del dos por ciento de la producción mundial. El café se produce en 14 estados, concentrados en el centro y sur del país, con el estado de Chiapas representando casi el 40 por ciento de la producción nacional, seguido por Veracruz y Puebla con el 24 y el 17 por ciento, respectivamente. [2].

Por otra parte, la producción de café se ha visto afectada debido a enfermedades que se presentan en este cultivo que son causadas en su gran mayoría por hongos. Algunas de ellas son ojo de gallo, Mancha de hierro, Broca del cafeto y la más importante la roya, ocasionada por *Hemileia vastatrix* [8], catalogada como una de las 10 enfermedades más devastadoras en el mundo, afectando los cafetos en México. Prácticamente se tienen problemas fitosanitarios en el cultivo a través de todo el ciclo anual. En algunos casos y cuando las condiciones ambientales son favorables para el desarrollo de estas enfermedades, se llegan a alcanzar pérdidas considerables [3]. Por lo que se han buscado nuevas alternativas, entre ellas la generación de plantas resistentes a la enfermedad, para la obtención de estas plantas y el rápido establecimiento de los nuevos cultivos es necesario optimizar las estrategias de propagación y conservación de plantas de cafeto. Además de las enfermedades otro factor que afecta al cultivo es que la mayoría de los cafetales existentes son seniles, algunos con más de 30 años y con portes muy altos que dificultan la cosecha del café, causando así una disminución en la productividad. El objetivo de propagar material vegetal de forma masiva es el sustituir las plantaciones seniles, incrementar la densidad de árboles resistentes a enfermedades para elevar la productividad de la planta, además el efectuar prácticas culturales adecuadas y podas de fructificación que favorecen al desarrollo de yemas, aumentando la floración y por consiguiente el número de frutos [4, 2].

En los últimos años se han implementado estrategias biotecnológicas como es el establecimiento de semillas *in vitro*, este método consiste en obtener una rápida producción de plantas genéticamente idénticas, propagar especies que presentan dificultades por los métodos tradicionales, seleccionar plantas resistentes a enfermedades causadas por hongos, virus y bacterias para multiplicarlas y lo más importante que no depende de la época del año debido a que el ambiente es controlado, además se pueden adicionar fitoreguladores vegetales que le darán un desarrollo vigoroso a las plantas. La biotecnología se difunde cada vez más, esto se debe a las múltiples ventajas y posibilidades que ofrece en numerosos sectores de investigación, como en bioquímica, fitopatología y genética; la parte de "Biotecnología" esencialmente en la aplicación de técnicas de cultivos de tejidos, conocido también como método *in vitro* [5]. La propagación *in vitro* del café puede ser por organogénesis (micro esquejes) o embriogénesis somática, así como el rescate y germinación de semillas cigóticas [6], la cual se ha establecido a partir de distintos explantes, tales como secciones de tallo, hojas, ovarios y estambres.

La contaminación microbiana y por hongos continúa siendo uno de los problemas que afecta el cultivo *in vitro*. Al igual que otros factores como la lenta germinación de las semillas, en algunos casos se debe a que son atacadas por insectos antes de su recolección causando afectaciones en su estructura, incluso en ocasiones la semilla puede ser cosechada antes de alcanzar su madurez provocando que estas no germinen, por ello es de suma importancia conocer cada etapa fenológica del cultivo para así obtener semillas viables [7].

En la actualidad, se sabe poco acerca de los microorganismos que podrían ser asociados al cultivo del café (*Coffea arábica*) y su acción en el desarrollo de la planta, es por eso que surge la necesidad de explorar otras alternativas como el uso de microorganismos benéficos que favorecen a la estimulación y el crecimiento en general de la planta [8].

Entre ellos se encuentran los hongos del género *Trichoderma* y bacterias del género *Pseudomonas*, usualmente, catalogados como agentes de control biológico (BCA) y microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPM), en la interacción de estos dos tipos de microorganismos, se pueden presentar efectos sinérgicos, que potencialicen los beneficios o, por el contrario, se tengan efectos antagónicos o simplemente que no ocurra ningún efecto en el crecimiento y en el desarrollo de las plantas. Los *Trichodermas* son un género cosmopolita y comparten una amplia variedad de interacciones con diferentes organismos, es fácilmente aislado del suelo por métodos convencionales, en gran parte debido a su rápido crecimiento y colonización de sustratos orgánicos, lo que facilita un rápido desarrollo en varios sustratos. Como asociados asintomáticos de plantas (endófitos), estos hongos las benefician mediante la supresión de patógenos, la promoción del crecimiento, la mejora en la toma y disponibilidad de nutrientes y la disponibilidad e inducción de resistencia. Estas propiedades hacen que *Trichoderma* sea uno de los géneros fúngicos más versátiles e intrigantes, con numerosos aspectos para tratar con más detalle [9]. Por lo anterior en esta investigación se evaluará el efecto de la aplicación de filtrados de *Trichoderma* nativos aislados de la región de Chiapas en la germinación y desarrollo de plántulas de café.

Metodología

Material vegetal

Se recolectaron semillas de café (*C. arabica* var. *Typica*) de huertos de traspatio ubicados con las coordenadas (20°24'44"N 103°23'30"W), municipio de Tlajomulco Zúñiga, perteneciente a la región centro del Estado de Jalisco. Las semillas se trasladaron a las instalaciones del Tecnológico Nacional de México Campus Tlajomulco, en el laboratorio de cultivo de tejidos de la Planta Piloto para ser procesadas. Las semillas se lavaron con agua corriente, se despulparon manualmente (eliminación de pericarpio, pulpa, capa de pectina y pergamino) y se sometieron a una solución de cloro al 10% con 0.5 ml de tween 80/L de solución durante 15 min, posteriormente se enjuagaron con agua corriente y se secaron en un secador de charolas (marca Polinox modelo TABIM094) a una temperatura de 30±2°C durante 24 h, posteriormente las semillas se conservaron en un frasco de vidrio a temperatura ambiente (aproximadamente a 25±2°C) para su posterior uso.

Establecimiento de experimento de pretratamiento de remojo en semillas de café

Para el establecimiento de las semillas en condiciones in vitro, las semillas despulpadas y secas se sometieron a un proceso de desinfección en condiciones asépticas con soluciones estériles. Se colocaron las semillas en una solución desinfectante con fungicida (benomilo) a una concentración de 1.0 g/L y 1.0 g/L de estreptomycin durante 20 min. Posteriormente se colocaron en una solución al 30% de cloro comercial (Cloralex) durante 20 min, después se sumergieron en etanol al 70% por 2 min, después de cada tratamiento de desinfección se realizaron enjuagues con agua destilada. Finalmente, las semillas se dejaron en remojo con una solución antioxidante (0.1mg/L de ac. ascórbico con 0.1mg/L de ac. cítrico) como se menciona a continuación: R1. Semillas sin remojo; R2. Remojo de semilla por 24h; R3. Remojo de semilla por 48h; R4. Remojo de semilla por 72h. Posteriormente se colocó nuevamente en frascos con medio ZG (por sus siglas en inglés zygotic germination medium) para la germinación de la semilla de café [10], suplementado con 3% (p/v) de sacarosa y 8g/L de agar a un pH de 5.8, todos los medios de cultivo preparados fueron autoclaveados a 121°C por 20min a 105kPa. Las semillas se colocaron en condiciones de 25°C de temperatura en fotoperiodo (16h luz) hasta su evaluación.

Obtención del filtrado del cultivo de hongos (FC).

Como fuente de inóculo para la producción del FC se utilizaron esporas de cada una de las cinco cepas de *Trichoderma sp.* evaluadas (LE21, LE47, LE59, LE63, LE116) crecidas en medio PDA (Potato Dextrose Agar). Se inocularon 5 mL de la suspensión de esporas de 1x10⁶ esporas/mL en matraces Erlenmeyer de 1 L con 0.5 L de medio PDB (Potato Dextrose Broth). En seguida se colocaron en agitación a 200 rpm a 28°C y en oscuridad total durante 30 días. Posteriormente, se recolectó el producto formado en cada matraz y se centrifugó a 3000 rpm a 25°C durante 5 min para la separación del micelio. Después, en campana de flujo laminar se filtró el sobrenadante con 4 capas de filtros de papel. El FC se recuperó en recipientes esterilizados, se pesó y almacenó a -20°C hasta su uso.

Establecimiento de experimento de la aplicación de filtrados de *Trichoderma* sp. en semillas de café

Para el establecimiento de las semillas en condiciones in vitro, las semillas despulpadas y secas se sometieron a un proceso de desinfección en condiciones asépticas con soluciones estériles. Se colocaron las semillas en una solución desinfectante con fungicida (benomilo) a una concentración de 1.0 g/L y 1.0 g/L de estreptomycin durante 20 min. Posteriormente se colocaron en una solución al 30% de cloro comercial (Cloralex) durante 20 min, después se sumergieron en etanol al 70% por 2 min, después de cada tratamiento de desinfección se realizaron enjuagues con agua destilada. Finalmente, se transfirieron en los filtrados obtenidos de las cepas de *Trichoderma spp.* a una concentración del 50% durante 30 min y se transfirieron en un frasco de vidrio con capacidad de 125mL con papel filtro humedecido con 5mL de una solución de 0.1 g/L de ácido ascórbico y 0.1 g/L de ácido cítrico durante 20 días, transcurrido ese tiempo se sumergió nuevamente las semillas en el filtrado de *Trichoderma* a una concentración del 50% durante 30 minutos, posteriormente se colocó nuevamente en frascos con papel filtro humedecidos con agua destilada. Las semillas se colocaron en condiciones de 25°C de temperatura en fotoperiodo (16h luz) hasta su evaluación. En el experimento se emplearon filtrados de *Trichoderma* aislados de los suelos cafetaleros de Chiapas, con los cuales se establecieron los siguientes tratamientos: T1. Semillas sin filtrado; T2. Semillas con filtrado de *Trichoderma* (cepa LE21); T3. Semillas con filtrado de *Trichoderma* (cepa LE59); T4. Semillas con filtrado de *Trichoderma* (cepa LE47); T5. Semillas con filtrado de *Trichoderma* (cepa LE63); T6. Semillas con filtrado de *Trichoderma* (cepa LE116).

Índice de velocidad de germinación (IVG)

Se realizaron conteos cada tercer día del número de semillas germinadas. Como criterio de germinación se consideró la protrusión radicular. El cálculo del IVA se realizó de acuerdo con la propuesta de Maguire [11, 12].

$$IVG = \left(\frac{N_1}{t_1}\right) + \left(\frac{N_2}{t_2}\right) + \dots + \left(\frac{N_x}{t_x}\right)$$

En esta fórmula, N representa el número de semillas que germinan cada día y T representa el tiempo en días entre la siembra y la germinación del N numero de semillas.

Diseño experimental y análisis de datos

Se realizaron evaluaciones a los 18 días después de la imbibición de la semilla el diseño experimental fue de bloques completamente al azar. Los datos presentados corresponden a la media de ocho replicas, cada una con 5 semillas. Para la germinación, se contabilizó las semillas germinadas en el día dieciocho después de la hidratación de la semilla y se calculó el porcentaje de germinación. Los datos fueron sujetos a un análisis de varianza (ANOVA). La comparación de medias fue de terminada por la prueba de LSD ($P < 0.05$).

Resultados y discusión

La germinación de las semillas se considera el inicio de la primera fase de desarrollo en el ciclo de vida, es un proceso complejo durante el cual la semilla madura reanuda su crecimiento comenzando con la captación de agua y completándose cuando la radícula sobresale de la estructura de cobertura. Inicialmente, hay una rápida imbibición de agua por parte de una semilla seca (fase I) hasta que los tejidos de la semilla están completamente hidratados. A esto le sigue una absorción limitada de agua durante la fase II, mientras que en la fase III, hay un aumento de la captación de agua que está relacionado con la finalización de la germinación [13]. En la figura 1 se observa que en las semillas A-C aún no emerge la radícula, mientras que en la D y E ya se ha completado el proceso de germinación, mostrándose la protrusión de la radícula en la semilla de café.

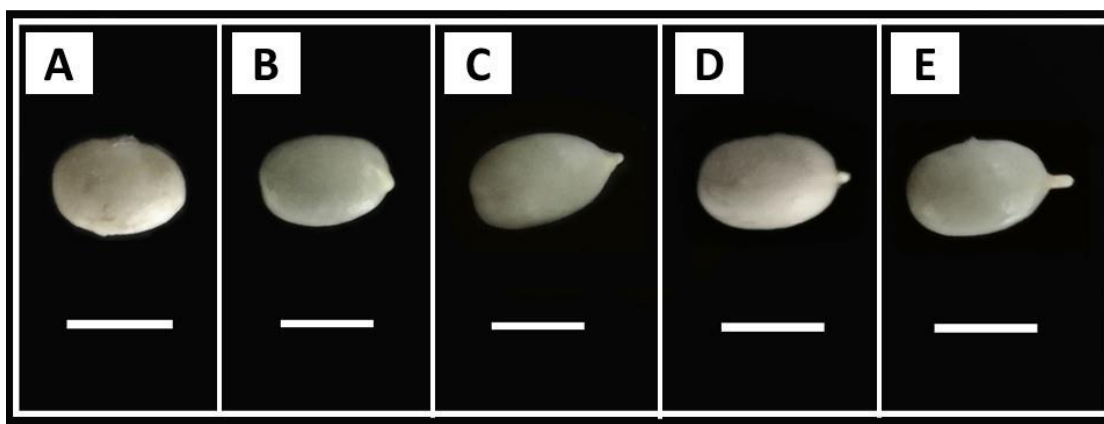


Figura 1. Determinación del inicio de la germinación en semillas de café (*Coffea arabica*). (A-C) Semillas no germinadas, D-E). Semillas germinadas. Barra corresponde a 1cm

El ANOVA mostró que la germinación se vio significativamente afectada por la aplicación de filtrados de diferentes cepas de *Trichoderma* ($P=0.000$), así como en el pretratamiento de remojo en la germinación de semilla ($P=0.001$), Tabla 1.

Tabla 1. Análisis de varianza sobre el efecto de la aplicación del filtrado de *Trichoderma* y el remojo de semillas cigóticas de café en la germinación.

Factores	GL	Suma de cuadrados	Media cuadrados	de	Valor F	Valor p
Trichoderma	5	5917.5	983.50		25.21	0.000
Remojo	3	961.3	320.43		8.21	0.001
Error	18	702.3	39.02			

En la Figura 2A se muestra que el tratamiento R2 tuvo un porcentaje de germinación de un 70% y un índice de velocidad en la germinación más acelerado en comparación con el tratamiento R3 el cual tuvo un 70% de germinación con un menor índice de velocidad de germinación (Tabla 2).

Mientras que los tratamientos R1 y R4 tuvieron valores similares en cuanto al índice de velocidad de germinación con 7.0 y 7.5 respectivamente (Tabla 2). Las fases que ocurren durante el proceso de germinación son el resultado de la interacción de varios eventos metabólicos y celulares, coordinados por una compleja red reguladora que incluye la latencia de la semilla, una capacidad intrínseca de bloquear temporalmente la elongación de la radícula para optimizar el momento de la germinación. Algunas semillas pueden tener inhibidores naturales que impiden o retrasan la germinación, hasta que no se presenten condiciones adecuadas estas permanecen en dormancia. Al tener una capa externa (testa) que las protege del medio ambiente, resisten las temperaturas externas. Sin embargo, al remojar las semillas, el proceso de hidratación y su activación se acelera y de esta manera pueden germinar en menor tiempo [14]. Aunque se han reportado diversos tratamientos pre-germinativos para las semillas de café, el remojo en agua sigue siendo el procedimiento más utilizado y con mayor efectividad [15].

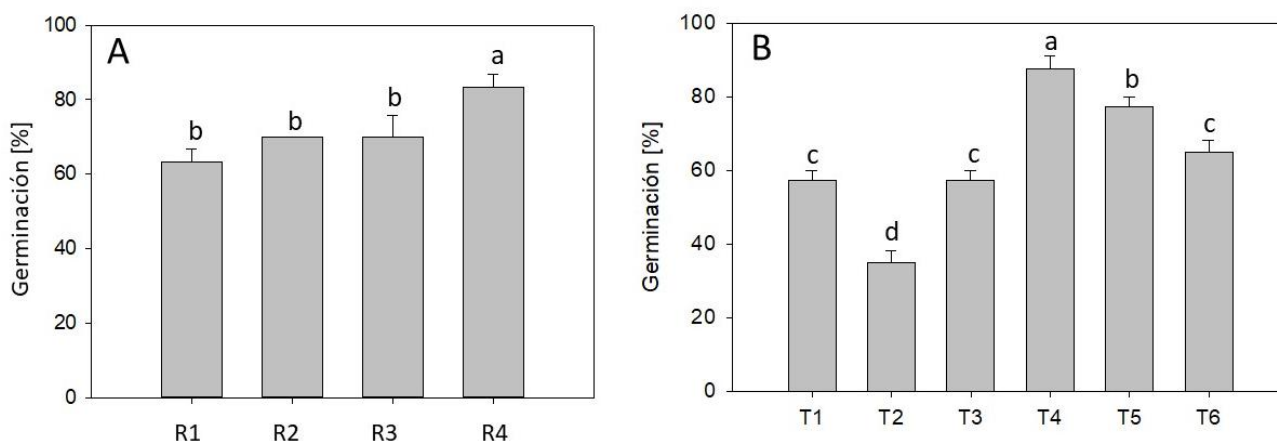


Figura 2. Germinación de semillas de café en condiciones in vitro en el día 18. A. Pretratamiento de semillas (remojo de semillas). B. Efecto de filtrados de *Trichoderma sp* en la germinación de semillas de café. Las barras representan la media con el error estándar y diferentes letras entre barras denotan diferencias significativas ($P < 0.05$).

Mientras en la Figura 2B se observan los tratamientos T1, T3 y T6 con aproximadamente un 60% de germinación, los cuales no muestran diferencias significativas entre sí, en comparación con el T2 que obtuvo el menor porcentaje de germinación (35%), mientras que los tratamientos T4 y T5 tuvieron un mayor porcentaje de germinación con 87.5% y 77.5% respectivamente. Respecto al índice de velocidad de germinación, los tratamientos T1, T2 y T3 presentaron los valores más bajos, es decir las semillas germinaron más lento (valores entre 2.3 y 4.8) comparado con los tratamientos T4, T5 y T6 los cuales presentaron una germinación más rápida, con un índice de velocidad de germinación de 6.9, 7.1 y 6.0 respectivamente.

En trabajos previos se han inoculado semillas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con suspensiones de 6×10^8 conidios/mL de *Trichoderma sp* los cuales promovieron la germinación normal de semillas [16]. El efecto estimulador de *Trichoderma spp.* en las plantas probablemente este relacionado con su participación en la diafonía entre hormonas de crecimiento sintetizado por estos hongos los cuales pueden incrementar la actividad fotosintética, el rendimiento y el crecimiento de la planta, así mismo también se ha observado que aumentan la inmunidad de las plantas contra la invasión de patógenos. [17, 18]. Sin embargo, también existen trabajos en los que se ha reportado un efecto negativo en la aplicación de *Trichoderma asperellum* en semillas de pepino [19], su efecto desfavorable se puede relacionarse principalmente con su capacidad de mico-parasitismo, afectando el desarrollo de la planta [20].

Tabla 2. Evaluación de la velocidad de germinación en los diferentes tratamientos según el filtrado de *Trichoderma* y horas de remojo.

Semillas hidratadas (remojadas)		Semillas tratadas con filtrado de <i>Trichoderma</i>	
Tratamiento	IVG	Tratamiento	IVG
	*[SG/día]		*[SG/día]
R1	7.000	T1	3.005
R2	8.539	T2	2.378
R3	6.770	T3	4.889
R4	7.566	T4	6.922
		T5	7.161
		T6	6.067

IVG: Índice de velocidad de germinación de semillas de café. **SG:** Semillas germinadas

Trabajo a futuro

A partir de la optimización del establecimiento y germinación de las semillas en condiciones in vitro de este trabajo, nos permitirá tener plantas in vitro para empezar con la optimización de la multiplicación de plantas de café probando diferentes estrategias como la embriogénesis somática y microesquejes, así como el escalamiento del proceso con el uso de biorreactores.

Conclusiones

De acuerdo con el análisis de varianza, los resultados de las aplicaciones de los filtrados de Trichoderma y las diferentes horas de remojo presentaron diferencias significativas. En cuanto a las horas de remojo el tratamiento R4, con remojo de 72h, fue el que presentó un mayor porcentaje de germinación (83%), con una IVG elevada (7.6 semillas germinadas/día). En cuanto a uso de filtrados de Trichoderma solo las cepas LE47 (T4) y LE63 (T5) fueron las que promovieron un mayor porcentaje de germinación con 87.5 y 77.5% respectivamente. Por lo resultados obtenidos en la presente investigación se sugiere que para obtener una mayor porcentaje de germinación de semillas de café se remoje por 72h o se utilice el filtrado de Trichoderma de las cepa LE47 o LE63.

Agradecimientos

Investigación realizada en el Laboratorio de Biotecnología del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tlajomulco en colaboración con el CIATEJ. Proyecto financiado por el TecNM, Convocatoria 2021, No. 13481 y al proyecto FORDECYT 292474 financiado por CONACyT. Agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Laboratorio Nacional PlanTECC por el apoyo otorgado en el proyecto: Mantenimiento de la infraestructura del Laboratorio Nacional PlanTECC, No. 315918.

Referencias

- [1] A. A. Alfonse, J.C. Trejo-García, M. A. Martínez-García. "Opción climática para la producción de café en México". *Ens. Rev. econ., Monterrey*, vol 37, no. 2, pp. 135-154, Julio 2018.
- [2] United States Department of Agriculture (USDA). Foreign agricultural service. USDA Global Market Analysis. May 2021.
<https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Coffee%20Annual%20Mexico%20City%20Mexico%2005-15-2021.pdf>
- [3] C. A. Harvey, A.A. Pritts, M.J. Zwetsloot, K. Jansen. "Transformation of coffee-growing landscapes across Latin America". *A review. Agron. Sustain. Dev.*, vol 41, no. 62, pp 41-62, August 2021.
- [4] A Libert-Amico, F. Paz-Pellat. "Del papel a la acción en la mitigación y adaptación al cambio climático: la roya del cafeto en Chiapas". *Madera y bosques*, vol. 24 (spe), e2401914, dic 2018.
- [5] G. Ranabhat, A. Dhakal, S. Ranabhat, A. Dhakal, R. Aryal. Future Perspective of plant biotechnology: a review. *Reviews in food and agriculture* vol. 1, no. 1, pp 36-41, ISSN: 27350312. 2020 October.
- [6] K.M Ashebre, K.M. 2016. "The Role of Biotechnology on Coffee Plant Propagation: A current topics paper". *J. Biol. Agricul. Healthcare*, vol. 6, no. 5, pp. 13-19, 2016.
- [7] M. E. González, L. M. Barrios. "Estudio sobre contaminantes fungosos en la formación de callos a partir de explantes foliares de Coffea sp.". *Biotecnología Vegetal*, vol. 3, no. 2, abril 2003.
- [8] C A Cisneros-R, J. M. Franco, M. R. Fernández, J. C. Fuenmayor. "Influencia de microorganismos en la disponibilidad de fósforo en plántulas de café (*Coffea arabica*)". *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, vol 15, no. 1, pp 19-26, June 2017.
- [9] T. Benítez, A.M. Rincón, M.C. Limón, A.C. Codon, "Biocontrol mechanisms of Trichoderma strains". *International Microbiology*, vol. 7, no. 4, pp 249-260, Dec 2004
- [10] F. Quiroz-Figueroa, M. Monforte-González, R.M. Galaz-Ávalos, V.M. Loyola-Vargas. "Direct Somatic Embryogenesis in Coffea canephora". In: Loyola-Vargas V.M., Vázquez-Flota F. (eds). *Plant Cell Culture Protocols. Methods in Molecular Biology™*, vol 318. Humana Press. 2006
- [11] J. D. Maguire, "Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor". *Crop Science* vol 2, pp 176-177, 1962

- [12] S. Khan, A. Ullah, S. Ullah, M.H. Saleem, M.K. Okla, A. Al-Hashimi, Y. Chen, S. Ali. Quantifying Temperature and Osmotic Stress Impact on Seed Germination Rate and Seedling Growth of *Eruca sativa* Mill. via Hydrothermal Time Model. *Life (Basel)*. 2022 Mar 9;12(3):400. doi: 10.3390/life12030400. PMID: 35330151; PMCID: PMC8955359.
- [13] E. Wolny, A. Betekhtin, M. Rojek, A. Braszewska-Zalewska, J. Lusinska, R. Hasterok. "Germination and the Early Stages of Seedling Development in *Brachypodium distachyon*". *International Journal Molecular Sciences* 2vol. 19, no. 10, pp 1-14, sep 2018
- [14] M. J. Holdsworth, L. Bentsink, W.J. Soppe, "Molecular networks regulating Arabidopsis seed maturation, after-ripening, dormancy and germination". *New Phytol.*, vol. 179, no. 1, pp 33-54, 2008.
- [15] M. Salvador-Figueroa, M. de L. Adriano-Anaya, C. Becerra-Ortiz, "Efecto del remojo en agua sobre la germinación de semillas de papaya var. maradol", *Revista Chapingo Serie Horticultura*, vol. 11, no. 1, pp. 27–30, jun 2005.
- [16] S.C.L. Montalvão, E. Marques, J.B.T. Silva, S.C.M. Mello. "Trichoderma Activity in Seed Germination, Promoting Seedling Growth and Rhizocompetence in Tomato Plants". *Journal of Agricultural Science* vol. 12, no. 10, pp 252-262, ISSN 1916-9752, sep 2020.
- [17] R. Hermosa, A. Viterbo, I. Chet, E. Monte. "Plant-beneficial effects of Trichoderma and of its genes". *Microbiology*, vol.158, pp. 17–25, 2012 jan.
- [18] R.E. Cardoza, M.R. Hermosa, J.A. Vizcaino, L. Sanz, E. Monte, S. Gutiérrez. "Secondary Metabolites Produced by Trichoderma and Their Importance in the Biocontrol Process", *Microorg. Ind. Enzym. Biocontrol*. vol 1, pp 207–228, January 2005.
- [19] L.Z. Ethur, M. Lupatini, E. Blume, M.F.B. Muniz, Z.I. Antonioli, L.H. Lorentz, "Trichoderma asperellum na produção de mudas contra a fusariose do pepineiro". *Sci. Agrar. Paran.*, vol. 11, no. 4, pp 73-84, Aug 2012.
- [20] R. Tyśkiewicz, A. Nowak, E. Ozimek, J. Jaroszek-Scisiel. "Trichoderma: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth". *Int. J. Mol. Sci.* vol. 23, no. 4, pp 1-28, Feb 2022.

Obtención de biodiesel por transesterificación de lípidos con lipasa *Acrílica cándida antártica B*

N. Gutiérrez-Casiano^{1,2}, N. E. Chávez Méndez², E. Hernández-Aguilar², J. Vicente Martínez¹, J. M. Méndez-Contreras^{1*}

¹ Instituto Tecnológico de Orizaba, Tecnológico Nacional de México, Av. Instituto Tecnológico (Oriente 9) No.852, Col. Emiliano Zapata, CP. 94300, Orizaba, Ver., México.

²Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Oriente 6 1009, Rafael Alvarado, C.P. 94340, Orizaba, Ver., México

*jmendezc@orizaba.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

La transesterificación enzimática tiene mayor rendimiento y no hay formación de jabones. Se evaluó el porcentaje necesario para la transesterificación enzimática de lípidos de microalga *Chlorella vulgaris* empleando la lipasa *Acrílica cándida antártica B* y diferentes relaciones molares con metanol. Se practicó una extracción por soxhlet a la biomasa seca de *Chlorella vulgaris* previamente cultivada en agua residual industrial, se caracterizaron los lípidos mediante la normatividad mexicana (NMX-F-075-SCFI-2012, NMX-F-211-SCFI-2006, NMX-F-101-SCFI-2012, NMX-F-174-SCFI-2014, NMX-F-074-SCFI-2011), para la transesterificación se empleó un diseño de experimentos 2^k con 3 réplicas, los factores estudiados fueron porcentaje de lipasa y relación molar con 2 niveles cuantitativos cada uno (0.5 y 1 % y de 1:6 y 1:9 respectivamente) en 8 h de reacción. Se caracterizó el biodiesel obtenido, se encontró que el porcentaje de enzima y la relación molar tienen un efecto significativo, los rendimientos fueron 60% a 80% pueden aumentarse con un mayor tiempo de reacción.

Palabras clave: Transesterificación, *Chlorella vulgaris*, Lipasa *Acrílica cándida antártica B*, Transesterificación enzimática.

Abstract

Enzymatic transesterification has higher yield and there is no formation of soaps. The necessary percentage for the enzymatic transesterification of lipids from *Chlorella vulgaris* microalgae was evaluated using the Acrylic lipase *Candida antarctica B* and different molar ratios with methanol. An extraction by soxhlet was carried out on the dry biomass of *Chlorella vulgaris* previously cultivated in industrial wastewater, the lipids were characterized by means of the Mexican regulations (NMX-F-075-SCFI-2012, NMX-F-211-SCFI-2006, NMX-F-101-SCFI-2012, NMX-F-174-SCFI-2014, NMX-F-074-SCFI-2011), for transesterification a 2^k experiment design with 3 replicates was used, the factors studied were percentage of lipase and molar ratio with 2 quantitative levels each (0.5 and 1% and 1:6 and 1:9 respectively) in 8 h of reaction. The obtained biodiesel was characterized, and it was found that the percentage of enzyme and the molar ratio have a significant effect, the yields were 60% to 80% and can be increased with a longer reaction time.

Key words: Transesterification, *Chlorella vulgaris*, *Candida Antarctica Acrylic lipase B*, Enzymatic transesterification.

Introducción

La microalga *Chlorella vulgaris* como materia prima proveedora de contenido lipídico; destaca por su alto contenido de lípidos oscilando entre el 60% y 80% de material lipídico en peso seco convirtiéndose así en nuestra microalga base, además de otras ventajas, no compete con tierras de cultivo y sobrevive a condiciones adversas. El biodiesel obtenido de esta forma tiene diversas ventajas, pero en general destaca su origen renovable, biodegradabilidad, menores emisiones de CO₂ y en algunos casos emisiones nulas de SO_x [1].

Teniendo en cuenta que las reacciones de producción de biodiesel son lentas se opta por usar catalizadores para acelerarlas [2]. La velocidad de una reacción catalizada enzimáticamente depende en gran medida de la concentración de enzima y sustrato (lípidos), con la variación de la proporción de sustrato puede existir un efecto significativo en la velocidad de la reacción. Se caracteriza porque los productos son más puros, no hay formación de jabones, no se emplean catalizadores que dañen el medio ambiente, se evita la neutralización ácida y la recuperación del catalizador es fácil. Las enzimas pueden utilizarse libres o inmovilizadas. Las enzimas libres se añaden directo al medio, pero debido al contacto directo con el alcohol se reduce su actividad catalítica [3]. Las enzimas inmovilizadas se refieren a las lipasas que se adhieren en partículas sólidas (soporte de inmovilización) con el fin de mantener su actividad catalítica varias veces sin pérdidas significativas sobre su actividad o estabilidad [4]. Especialmente el uso de las lipasas inmovilizadas en la producción de biodiesel ha concebido mucha aplicación debido a la simplicidad de su aplicación y de la separación de los productos generados al final de la reacción [5].

La lipasa B de la levadura *Cándida antártica* puede recibir el nombre comercial de Novozyme 435 y se basa en la adsorción física de la lipasa en resinas acrílicas macroporosas [6]. Es una de las lipasas más utilizadas como biocatalizadora debido a su alta enantioselectividad, demuestra un alto nivel de selectividad de sustrato y su excelente estabilidad térmica [7]. Desde la visualización industrial la B-lipasa tiene una alta eficiencia como catalizador enzimático en reacciones de transesterificación para la producción de biodiesel [8]. La B-lipasa es considerablemente menos activa cuando interactúa con triglicéridos grandes, pero altamente activa frente a una amplia gama de ésteres. El pH ideal para la catálisis enzimática es de 7, la B-lipasa es muy estable en un rango de 5.5-8.5 en medio acuoso.

En la presente investigación se analizó la conversión de los lípidos derivados de la microalga *Chlorella vulgaris* a biodiesel mediante la reacción de transesterificación en presencia una enzima como catalizador; la lipasa *Acrílica cándida antártica B*.

Metodología

Para la obtención de biodiesel por transesterificación enzimática con lipasa *Acrílica cándida antártica B* se utilizó como materia prima la microalga *Chlorella vulgaris*, se realizó una extracción de lípidos por soxhlet y finalmente se llevó a cabo la transesterificación enzimática para lo cual se empleó un diseño de experimentos 2^k con 3 réplicas, los factores estudiados fueron porcentaje de lipasa y relación molar con 2 niveles cuantitativos cada uno de 0.5 y 1 % y de 1:6 y 1:9 respectivamente con 8 h de reacción, el biodiesel obtenido se caracterizó de acuerdo a la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales por sus siglas en inglés ASTM, la metodología empleada se muestra en la Figura 1.

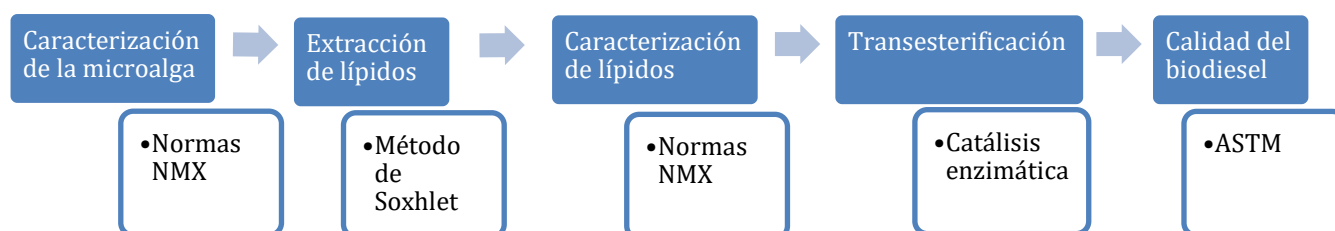


Figura 1. Metodología para la transesterificación enzimática con lipasa *Acrílica cándida antártica B*

Caracterización de microalga *Chlorella vulgaris*

Se utilizó biomasa de la microalga *Chlorella vulgaris* seca previamente cultivada en agua residual avícola, esta biomasa se sometió a una caracterización para evaluar el contenido de lípidos y por tanto su eficacia como proveedora de materia lipídica para su transformación en biocombustible. Se emplearon las determinaciones de: cantidad de proteínas totales mediante la técnica analítica de Lowry [9], cantidad de carbohidratos totales mediante el método DuBois: Fenol-Sulfúrico [10] para estas técnicas se utilizó un espectrofotómetro UV Vis

Genesys, la cantidad de lípidos totales se determinó por el método de Folch, para asegurar la calidad de la materia prima en las condiciones iniciales que presenta previo a su extracción (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de biomasa seca de *Chlorella vulgaris*

Análisis	Método de prueba
Proteínas (mg/L)	Método Lowry
Carbohidratos (mg/L)	Método Fenol-Sulfúrico
Lípidos (%)	Método de Folch

Extracción de lípidos de microalga *Chlorella vulgaris*

Se realizó una extracción de lípidos a la microalga *Chlorella vulgaris* empleando la técnica de separación por soxhlet y se empleó hexano como solvente para interactuar con la microalga contenida en un cartucho de extracción dentro del sifón del soxhlet y se extrajo el material lipídico por medio de la recirculación en el mecanismo de soxhlet [11]. Posteriormente, se clarificó los lípidos extraídos con carbón activado. Se determinaron de los siguientes análisis a los lípidos extraídos: densidad, índice de refracción, humedad, índice de saponificación, ácidos grasos libres mediante la norma NMX respectiva para cada determinación y se determinó su aptitud para conversión en biodiesel [12].

Extracción de lípidos de microalga *Chlorella vulgaris*

Tras cumplir con caracterización fisicoquímica, el aceite vegetal extraído de la microalga *Chlorella vulgaris* se determinó como apto en calidad, se sometió a una transesterificación enzimática [13]. Para llevar a cabo este proceso se utilizó un sistema de reflujo con una parrilla de calentamiento eléctrico, un tubo refrigerante conectado a un recirculador con una corriente de agua fría a 15 °C, un matraz de balón de tres bocas de 100 mL y un termopar para monitorear y controlar la temperatura de la reacción. Para el proceso de producción de biodiesel se utilizó los lípidos obtenidos de la microalga *Chlorella vulgaris*, como solvente se utilizó metanol, t-butanol como medio de reacción para disminuir la desactivación de la lipasa y aumentar la velocidad de transferencia de masa y como biocatalizador se utilizó la lipasa *Acrílica cándida antártica B* [14]. En la reacción de transesterificación se evaluó la concentración del biocatalizador y la relación molar alcohol: lípidos, con 3 réplicas, el experimento se realizó de forma aleatoria.

Transesterificación enzimática con lipasa *Acrílica cándida antártica B*

Se llevó a cabo el proceso de transesterificación [11], para la reacción de transesterificación enzimática se utilizó un sistema de recirculación de agua fría a 15 °C conectado a un tubo refrigerante con un matraz balón de 3 bocas de 100 mL y un termopar para monitorear la temperatura de la reacción montado todo en una parrilla de calentamiento y agitación. Se colocó 20 g de lípidos de extraídos de microalga dentro del matraz balón de 100 mL se utilizó agitación magnética a 500 rpm. Se inició el calentamiento hasta alcanzar la temperatura deseada para la reacción la cual fue de 48 °C. Se añadió el metanol por la tercer boca del matraz, se dejó agitar y mezclar con los lípidos contenidos en el matraz balón por 3 minutos, seguido de ello se añadió t-butanol a la mezcla contenida en el matraz balón y se dejó agitar por 3 minutos para homogenizar la mezcla completamente y se dejó alcanzar de nuevo la temperatura de 48 °C, entonces se encendió el refrigerante para el reflujo de agua fría y se añadió finalmente la cantidad necesaria de enzima para catalizar la reacción [15] dando inicio a la reacción durante 8 horas con una agitación constante [16]. Cuando la reacción finalizó, la mezcla del matraz balón se vertió sobre un papel filtro colocado dentro de un embudo de filtración rápida y está dirigido hacia el interior de un embudo de separación, esta serie de filtraciones con el fin de retener la enzima utilizada en la reacción. La mezcla

recolectada en el embudo de separación se dejó reposar durante 12 horas para que se genere la separación de fases existentes. [17]

Se realizó una filtración de la mezcla final producida por la reacción de transesterificación a través de un cono de papel filtro en un embudo de filtración rápida la enzima que fue utilizada como catalizador de la reacción quedó retenida en el cono de papel filtro después de haberse filtrado toda la mezcla líquida, el cono de papel filtro con la enzima retenida se pasó y se colocó en un nuevo embudo de filtración rápida limpio y seco. Se lavó directamente sobre el interior del papel filtro con 3 series de 5 mL de hexano para arrastrar los residuos pegados a la enzima, evitando la contaminación de la enzima. La enzima se dejó escurrir por completo para filtrar todo el solvente del lavado durante 12 horas, se refrigeró a 4 °C [18].

Calidad del biodiesel

Se realizó la determinación de la calidad de biodiesel siguiendo las ASTM para lo cual se determinó la densidad, índice de refracción, corrosividad al cobre, punto de inflamación, viscosidad cinemática, residuos de carbono, punto de nube y número de ácido.

Resultados y discusión

Resultados de la caracterización de la microalga *Chlorella vulgaris*

La calidad de la biomasa seca *Chlorella vulgaris* empleada para extracción de aceite de microalga a través del método de soxhlet se evaluó de acuerdo con la cantidad de proteínas, carbohidratos y lípidos, los resultados se presentan en la Tabla 2.

Los valores de proteínas encontrados son similares a los encontrados en la literatura los cuales son de 150 ± 0.1 mg/L [19]. Se encontró que el contenido de carbohidratos fue de 188.78 ± 0.05 mg/L para microalga *Chlorella vulgaris* seca estos valores son similares a los reportados para otras especies de microalgas como la microalga marina de la especie *Pauloua lutheri* con un valor de 185.30 mg/L [20].

El contenido lipídico obtenido de la microalga *Chlorella vulgaris* fue de 16.89% extraídos por el método de soxhlet los valores ordinarios se encuentran entre 14 %-22 %, la *Chlorella vulgaris* empleada en este estudio contiene una cantidad de lípidos que se encuentra dentro de este rango estimado y la cantidad de lípidos contenida en esta hace viable que la esta microalga pueda emplearse como materia prima para la producción de biodiesel.

Tabla 2. Resultados de la caracterización fisicoquímica de biomasa seca de *Chlorella vulgaris*

Análisis	Resultado
Proteínas (mg/L)	154.37 ± 0.005
Carbohidratos (mg/L)	188.78 ± 0.05
Lípidos (%)	16.89

Resultados de la caracterización de los lípidos de microalga

La técnica de separación soxhlet permitió la extracción de lípidos de microalga *Chlorella vulgaris*, los lípidos obtenidos presentaron las siguientes características fisicoquímicas (Tabla 3). La densidad del aceite de microalga *Spirulina* de 0.89 g/L [21], es similar al obtenido en este estudio.

Evaluar el índice de refracción es único para cada tipo de aceite, está relacionado con las insaturaciones que posee. El valor obtenido en el trabajo presente fue de 1.464 quedando muy cerca del límite mínimo permisible establecido por la norma NMX-F-074-SCFI-2011 de 1.448-1.460 es importante mencionar que esta norma no es

específica para aceites obtenidos de microalgas y a esto se debe que el valor no quede dentro del rango establecido.

El resultado de la humedad y materia volátil contenida en los lípidos de microalga *Chlorella vulgaris* fue de 0.145 %, este valor cumple con el parámetro establecido por la norma mexicana NMX-F- 211-SCFI-2006 el cual es de <1%, al comparar este resultado con el análisis para aceite de alga *Plukenetia volubilis* de 0.11% [22], el cual fue extraído por métodos de prensado y de extracción con disolventes. Sin embargo, los procesos mecánicos de extracción no generan interacción entre el aceite vegetal y algún solvente empleado que pueda tener un impacto significativo en la determinación de humedad, sin embargo, tampoco son los métodos más eficientes de extracción ya que no alcanzan a expulsar gran cantidad de lípidos, por lo que los procesos más eficientes que son los métodos químicos de extracción podrían generar lípidos que tengan un porcentaje superior de humedad pero encontrándose aún por debajo del límite establecido por la norma.

Tabla 3. Resultados de la caracterización fisicoquímica de lípidos de biomasa seca de *Chlorella vulgaris*

Análisis	Método de prueba	Resultado experimental	Limite permisible
Densidad relativa (Adimensional)	NMX-F-075-SCFI-2012	0.893	0.896-0.904
Humedad y materia volátil (%)	NMX-F-211-SCFI-2006	0.145	<1%
Índice de acidez (% AGL)	NMX-F-101-SCFI-2012	0.4493	<1%
Índice de saponificación (mg KOH/g de aceite)	NMX-F-174-SCFI-2014	234.5	192.0-203.0
Índice de refracción (adimensional)	NMX-F-074-SCFI-2011	1.464	1.465-1.467

Resultado del análisis del biodiesel

Para determinar si el biocombustible generado en el presente estudio posee condiciones adecuadas para llegar a ser empleado se realizó una evaluación de calidad a través de distintas pruebas y mediante las normas vigentes correspondientes como se muestra en la Tabla 4.

En el análisis realizado a la densidad se encontró un valor promedio de 0.893 g/L este valor se encontró cerca del límite mínimo permisible estipulado por la normatividad mexicana NMX-F-075-SCFI-2012 de 0.894-0.906 g/mL. El resultado de la humedad y materia volátil contenida en el aceite de microalga *Chlorella vulgaris* fue de 0.145 %, este valor cumple con el parámetro establecido por la norma mexicana NMX-F-211-SCFI-2006 el cual es de <1%. Para el índice de acidez se obtuvo un valor de 0.449 %, el resultado obtenido en la determinación es positivo dado que cuando el índice de acidez es bajo evita que una alta cantidad de ácidos grasos libres reaccionen con el catalizador formando jabones que provocan la formación de emulsiones dificultando la producción de biodiesel.

La evaluación del índice de saponificación al aceite vegetal proveniente de la microalga *Chlorella vulgaris* resultó en un valor de 234.5 mg KOH/g de aceite, el cual rebasa el límite máximo permisible establecido por la norma mexicana NMX-F-174-SCFI-2014 de 192-203 mg KOH/g de aceite. El resultado obtenido en este estudio se encuentra fuera del límite permitido por la norma, sin embargo, es posible obtener biodiesel, aunque, valores de índice de saponificación por arriba de los indicados en la normatividad aumentan la probabilidad de presencia de jabón en el producto final de la reacción de transesterificación, sin embargo, la probabilidad de formación de jabones durante la reacción baja cuando se utiliza un catalizador enzimático. Evaluar el índice de refracción fue de 1.464 quedando muy cerca del límite mínimo permisible establecido por la norma NMX-F-074-SCFI-2011 de 1.448-1.460 es importante mencionar que esta norma no es específica para aceites obtenidos de microalgas y a

esto se debe que el valor no quede dentro del rango establecido. Para punto de nube se encontró un resultado promedio de -7 ± 0.5 °C cuyo valor cumple con los límites establecidos por la norma vigente ASTM D2500-17 para el parámetro punto de nube de biocombustibles delimitan un rango de entre -3 °C como mínimo y -12 °C para este indicador de calidad. El punto de inflamación evaluado se encontró dentro del rango establecido por la norma, con un valor promedio de 235 °C.

La evaluación de la densidad fue en promedio de 0.8636 ± 0.005 g/mL, únicamente las condiciones 1 % de enzima y 1:9 como relación molar y 0.5% de enzima y 1:6 como relación molar arrojaron resultados de densidad dentro del rango establecido por la norma. El número ácido a través de la norma ASTM D664 establece un índice de ácido máximo de 0.50 mg de KOH/g. Para las muestras de estudio el valor promedio se encuentra de 0.26 ± 0.08 KOH/g.

Tabla 4. Análisis de calidad del biodiesel de microalga

Determinación	Método de prueba	Límite permisible
Punto de nube	ASTM D2500-17	Min. -3 °C Max. -12 °C
Densidad	ASTM D1298	0.86 - 0.90 g/mL
Punto de inflamación	ASTM D93	>130 °C
Índice de refracción	ASTM D1218-12	≤ 1.479
Número ácido	ASTM D664	<0.50 mg de KOH/g
Viscosidad Cinemática	ASTM D445	1.9 mm ² /s - 6.0 mm ² /s
Residuos de carbono	ASTM D4530	<0.05
Corrosividad al cobre (grado de corrosión)	ASTM D130-19	Min. 1 Max. 3

La norma ASTM D4530-15 establece un valor de 0.05 como máximo para los residuos de carbono. La determinación realizada a las muestras de biocombustible a base de microalgas muestra un valor promedio de 0.031 ± 0.006 . La evaluación experimental de las muestras de biocombustible sobre láminas de cobre muestra un resultado negativo en corrosividad sobre tiras de cobre, a través de la norma ASTM D130-19 para la determinación de su nivel de corrosividad sobre el cobre indica que para tener un biodiesel funcional debe presentar un máximo de grado 3 de corrosión para la corrosividad sobre el cobre y un mínimo de grado 1 de corrosión para la misma.

La evaluación de la viscosidad cinemática al biodiesel se comprobó a través de los parámetros señalados por la norma ASTM D445 la cual indica un límite mínimo permisible de 1.9 mm²/s y un límite máximo permisible de 6.0 mm²/s. El valor obtenido en el biodiesel producido bajo las condiciones 1 % de enzima y una relación molar de 1:9, así como 0.5 % de enzima con una relación molar de 1:9, condiciones bajo las cuales se obtuvieron los resultados promedio de 4.83 ± 0.3 mm²/s, así, los datos resultantes de esta determinación cumplen el régimen permisible postulado por la norma, así como también cumplen con una de las normas más importantes a nivel mundial en calidad de biocombustible EN-14214 la cual señala un rango para viscosidad de 3.5-5.0 mm²/s.

El análisis de varianza con un índice de confiabilidad del 95 % demostró que el porcentaje de enzima tiene un efecto significativo sobre el punto de nube, punto de inflamación, número ácido y residuos de carbono, mientras que la relación molar tuvo un efecto significativo únicamente sobre el índice de refracción y viscosidad cinemática. Por otro lado, la interacción porcentaje de enzima-relación molar tuvo efecto únicamente sobre la densidad.

Conclusiones

El biodiesel producido que presenta una mejor calidad obtuvo un máximo resultado de conversión de ácidos grasos libres a biodiesel de 82.7 % para las condiciones de reacción de 1 % de concentración de catalizador

enzimático *Acrílica cándida antártica B* y una relación molar entre lípidos y alcohol de 1:6. Relaciones molares superiores a 1:6 tiene un menor rendimiento, esto se debe a una desactivación de la enzima, por lo tanto, afecta su función como catalizador al haber una cantidad mayor de alcohol [15], por lo que no existe una conversión satisfactoria de ácidos grasos libres.

El biodiesel obtenido de lípidos de microalga *Chlorella vulgaris* empleando 1 % de enzima como catalizador y una relación molar 1:6 (lípidos: metanol) cumplió con la norma ASTM-D6751. El porcentaje de enzima tiene un efecto significativo en el punto de nube, punto de inflamación, número ácido y residuos de carbono, mientras que la relación molar tuvo mayor efecto sobre las variables de índice de refracción y viscosidad cinemática. Se concluyó que el porcentaje de enzima y la relación molar son factores que afectan significativamente la calidad del biodiesel, obteniéndose los mejores resultados con 1 % de enzima y relación molar de 1:6. La evaluación de la viscosidad determinada experimentalmente cumplió con el estándar de calidad señalado por la norma ASTM D445.

Referencias

- [1] A. Pérez "Aspen Simulation of Diesel – Biodiesel Blends Combustion", *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 16, pp 83-92, 2015.
- [2] V. Makareviciene and V. Skorupskaite, "Transesterification of microalgae for biodiesel production". *Second and Third Generation of Feedstocks*, pp. 469-510, 2019.
- [3] P. Rodríguez, L., M. Fontalvo, and D. L. Mendoza, "Biodiesel production by enzymatic transesterification of oil extracted from food industrial waste". *Prospectiva- Una nueva visión para la ingeniería*, vol. 16, pp. 26-33, 2018.
- [4] S. Mulalee, P. Srisuwan, and M. Phisalaphong, "Influences of operating conditions on biocatalytic activity and reusability of Novozym 435 for esterification of free fatty acids with short-chain alcohols: A case study of palm fatty acid distillate". *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 23, pp. 1851-1856, 2015.
- [5] M. Shahedi and J., Brask, "Improvement of biodiesel production from palm oil by co-immobilization of *Thermomyces lanuginosa* lipase and *Candida Antarctica* lipase B: Optimization using response surface methodology". *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 170, pp. 490-502, 2021.
- [6] D. Yu, X. Zhang, T. Wang, H. Geng, L. Wang, L. Jiang, and W. Elfalleh, "Immobilized *Candida Antarctica* lipase B (CALB) on functionalized MCM-41: Stability and catalysis of transesterification of soybean oil and phytosterol". *Food Bioscience*, vol. 40, 2021.
- [7] O. Kirk and W. Christensen, "Lipases from *Candida Antarctica*: Unique Biocatalysts from a Unique Origin". *Organic Process Research & Development*. pp. 446-451, 2003.
- [8] J. Robert, M. Betancur, A. Machado, A. Arruda, V. Reis, R. Almeida, and D. Freire, "Increase of *Candida Antarctica* lipase B production under PGK promoter in *Pichia pastoris*: effect of multicopies". *National Library of Medicine*, pp. 405-413, 2019.
- [9] D. Alvarado, E. Buitrago, M. Solé, and K. Frontado, "Experimental evaluation of a composted seaweed extract as microalgal culture media". *Aquaculture International*, vol.16, no. 1, 85-90, 2008.
- [10] X. López-Legarda, A. Taramuel-Gallardo, C. Arboleda-Echavarría, F. Segura-Sánchez, and L. F. Restrepo-Betancur, "Comparación de métodos que utilizan ácido sulfúrico para la determinación de azúcares totales". *Revista Cubana de Química*, vol.29, no. 2, 180-198, 2017.
- [11] Z. Lari, M. Hosseini and H. Ahmadzadeh, "Chapter 2 - Cell Wall Disruption: A Critical Upstream Process for Biofuel Production" *Advances in Feedstock Conversion Technologies for Alternative Fuels and Bioproducts*, pp. 21-35, 2019.
- [12] O. Castillo, S. Torres, C. Nuñez, V. Caballero, C. Herrera and J. Rodriguez, "Biodiesel production from microalgae: progress and biotechnological prospects" *Hidrobiológica*, vol. 27, pp. 337-352, 2017.

- [13] L. Tejada, D. Argumedo, M. Alayon and C. Saldarriaga, "Characterization and lipid profile of oil from microalgae" *Facultad de Ingeniería*, pp. 43-54, 2015.
- [14] V. Kumar, M. Nanda, H. Joshi and A. Singh, "Production of biodiesel and bioethanol using algal biomass harvested from fresh water river" *Renewable Energy*, vol. 116, pp. 606-612, 2018.
- [15] M. Shahedi and J. Brask, "Improvement of biodiesel production from palm oil by co-immobilization of *Thermomyces lanuginosa* lipase and *Candida Antarctica* lipase B: Optimization using response surface methodology" *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 170, pp. 490-502, 2021.
- [16] V. Makareviciene and V. Skorupskaite, "Transesterification of microalgae for biodiesel production" *Second and Third Generation of Feedstocks*, pp. 469-510, 2019.
- [17] H. Chyuan Ong, Y. Wei Tiong, B. Han Hoe Goh and Y. Yang Gan, "Recent advances in biodiesel production from agricultural products and microalgae using ionic liquids: Opportunities and challenges," *Energy Conversion and Management*, pp. 1-22, 2020.
- [18] L. Polo Rodríguez, M. Fontalvo Gómez and D. L. Mendoza Meza, "Biodiesel production by enzymatic transesterification of oil extracted from food industrial waste" *Prospectiva- Una nueva visión para la ingeniería*, vol. 16, pp. 26-33, 2018.
- [19] A. Ursu, A. Marcati, T. Sayd, V. Sante-Lhoutellier, G. Djelveh, and P. Michaud, "Extraction, fractionation and functional properties of proteins from the microalgae *Chlorella vulgaris*". *Bioresource technology*, vol. 157, pp. 134-139, 2014.
- [20] R. Filgueira, U. Labarta and M. Fernández-Reiriz, "Efecto del índice de condición en las relaciones alométricas de la tasa de aclaramiento en *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819". *Revista de biología marina y oceanografía*, vol. 43, no. 2, pp. 391-398, 2008.
- [21] M. Alvear and R. Castillo, "Caracterización y perfil lipídico de aceites de microalgas". *Facultad de ingeniería*, vol. 24, pp. 43-54, 2015.
- [22] L. Camargo, and F. Rodríguez, "Evaluación técnico-financiera de un método de concentración de aceite extra virgen de *Plukenetia volubilis*". Programa de ingeniería química Bogotá, p. 59, 2020.

Carbonización hidrotérmica de residuos orgánicos complejos como técnica de obtención de un bioenergético

Z.E. Delgado-Huerta¹, N.A. Vallejo Cantú¹, C. Velasco-Santos², A. L. Martínez-Hernández²,
A. Alvarado Lassman^{1*}

¹División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, Avenida Oriente 9 No. 852 Col. Emiliano Zapata, Orizaba, Veracruz, C.P. 94320, México
alejandro.al@orizaba.tecnm.mx

²División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Querétaro, Avenida Tecnológico s/n esq. Gral. Mariano Escobedo Col. Centro Histórico, Querétaro, C.P.76000, México

Área de participación: Ingeniería química

Resumen

La biomasa proveniente de los residuos orgánicos se considera un problema creciente, por lo que existen diferentes metodologías para su tratamiento, siendo la carbonización hidrotérmica (HTC, por sus siglas en inglés) un método prometedor, que consiste en la conversión termoquímica de un sustrato orgánico húmedo en compuestos carbonosos para ser usados como bioenergéticos. En este trabajo se utilizó la fracción sólida de los Residuos Orgánicos Complejos (ROC) obtenidos de una planta de separación y trituración de residuos orgánicos y sólidos, los cuales fueron acondicionados y llevados a un proceso de HTC utilizando un reactor de calentamiento semiautomatizado, donde las condiciones óptimas encontradas fueron 190 °C durante 1 h obteniendo un poder calorífico de 17.6 MJ/kg, un rendimiento del 38 % para el hidrochar y 67.14 % para el bioaceite, además hubo presencia de gas y se observaron grupos funcionales característicos del carbón por medio de espectroscopia IR, por lo que se asevera la factibilidad de este proceso como una alternativa viable para la generación de energía y disposición de residuos.

Palabras clave: carbonización hidrotérmica, residuos orgánicos, bioenergéticos

Abstract

Biomass from waste is considered a growing problem, so there are different methodologies for its treatment, with hydrothermal carbonization (HTC) being a promising method, which consists of the thermochemical conversion of a moist organic substrate in carbonaceous compounds for bioenergy production. In this work, the solid fraction of Complex Organic Residues (ROC) obtained from a separation plant was used, which were conditioned and taken to a HTC process using a semi-automated self-heating reactor, where the optimal conditions found were 190 °C at 1 h with a calorific power of 17.6 MJ/kg, a yield of 38 % for hydrochar and 67.14 % for bio-oil, there was also the presence of gas and characteristic functional groups of coal were observed by means of IR spectroscopy, therefore that the feasibility of this process is asserted as a viable alternative for energy generation and waste disposal.

Key words: hydrothermal carbonization, organic residues, renewable bioenergy

Introducción

Los residuos son los materiales o productos que se desechan cualquiera que sea su estado, sólido, semisólido, líquido o gaseoso, donde los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son aquellos generados y/o con características domiciliarias. En América Latina y el Caribe la gestión de los residuos sigue siendo uno de los mayores retos ya que el 90 % de estos no se aprovechan y cerca de 145,000 t/día se mandan a basureros, tiraderos a cielo abierto y rellenos sanitarios no controlados [1].

Existen residuos que no ofrecen posibilidad alguna de aprovechamiento y reutilización en un proceso productivo, por lo cual no presentan valor comercial, teniendo solamente costos de tratamiento y disposición final, un ejemplo

claro es la mayoría de los residuos orgánicos, los cuales en el año 2020 constituyeron poco más del 45 % de los RSU generados en México. La falta de tratamiento de estos Residuos Orgánicos Complejos (ROC) provenientes de los restos de comida, papeles, poda y recolección de maleza provoca la generación de gases de efecto invernadero y la producción de lixiviados, además también disminuye la calidad de los productos eventualmente reciclables y dificulta dicho proceso [1, 2, 3]. Sin embargo, la biomasa residual proveniente de los ROC es un recurso energético potencial, así como la biomasa virgen, ya que es una forma de reutilizar competentemente los residuos, pero para evaluar este potencial energético resulta necesario considerar las cantidades de los diferentes residuos obtenidos, su poder calorífico y la frecuencia de estos en la muestra [4, 5]

Para el tratamiento de los ROC existen diferentes técnicas siendo la carbonización hidrotérmica (HTC, por sus siglas en inglés) un método prometedor y novedoso para dar solución a la problemática de los residuos y la generación de energía, el cual consiste en un proceso termoquímico que se lleva a cabo en un rango de temperaturas de 180-250 °C en un ambiente acuoso mediante una serie de reacciones que constituyen hidrólisis, deshidratación, descarboxilación, condensación, polimerización y aromatización, lo que permite convertir la biomasa en un producto carbonoso estable y sólido con compuestos oxigenados denominado hidrochar, el cual podría ser una alternativa para el reemplazo del carbón mineral en plantas de energía donde se use el proceso de combustión ya que posee beneficios de energía limpia [6, 7, 8].

En esta investigación se presenta el desarrollo del proceso de HTC mediante un reactor de calentamiento propio para transformar la biomasa residual orgánica proveniente de una Planta Separadora y Trituradora de Residuos Orgánicos y Sólidos del municipio de Orizaba, Veracruz en un bioenergético con el fin de obtener niveles competentes de poder calorífico, para ser una alternativa viable en el tratamiento de ROC y la generación de energía [7, 9].

Metodología

Materiales

Los materiales y equipos utilizados en este trabajo se presentan en la Tabla 1:

Tabla 1. Materiales y equipos

Materiales	Equipos
Cubetas de HDPE	Estufa
Lona impermeable	Mufla
Crisoles	potenciómetro
Papel aluminio	Balanza Analítica
Vasos de precipitado	Centrífuga
Embudo	Calorímetro
Compresa quirúrgica	Espectrómetro IR
Agua tridestilada	Reactor de HTC

Acondicionamiento del ROC

La materia prima se recolectó de la planta de separación ECORI perteneciente al municipio de Orizaba, Veracruz en México, donde el proceso de separación consta de un tambor triturador de un solo eje, el cual se encarga del desgarrar y separación de las bolsas que contienen los RSU triturándolos a su vez, para después mediante el uso de un electroimán retirar todo el material metálico en bandas, posteriormente se produce la separación de los residuos mediante el uso de un equipo de rodillos por donde van cayendo según su tamaño, separando así los RSU en orgánicos e inorgánicos. La fracción sólida orgánica denominada Residuo Orgánico complejo (ROC), obtenida del proceso de la planta fue tomada en cubetas de 20 L de material HDME, el residuo se esparció sobre una lona extendida en una superficie plana para realizar la separación de la fracción inorgánica mediante la técnica de cuarteo, posteriormente por sedimentación se buscó eliminar las trazas de residuos inorgánicos aun presentes en la muestra. Después de la sedimentación en la que se hidrató el residuo durante 5 minutos, a este

se le retiró el exceso de agua con una centrifuga a escala piloto a 1700 rpm por la cual tiene una malla de 3 mm de diámetro.

Caracterización Físicoquímica

La caracterización de los ROC consistió en las determinaciones de Humedad, Sólidos Totales (ST), Sólidos Volátiles (SV), Cenizas y PH.

Para la determinación de la humedad, los sólidos totales y volátiles se tomó en cuenta la NORMA MEXICANA NMX-AA-16-1984 con una adaptación para su uso en sólidos, por lo que el crisol fue puesto previamente a peso constante, se le agregaron 5 g de residuo orgánico, se introdujo por 24 h en la estufa a 105 °C y pasado el tiempo la muestra se dejó enfriar, finalmente fue introducida a la mufla por 4 h a 550 °C, la técnica se llevó a cabo por triplicado y se obtuvieron los porcentajes de cada determinación por diferencia de peso.

Para la determinación de humedad, cenizas y ST se utilizó 1 g de muestra manteniéndose en la estufa durante 2 h. De la misma manera que el ROC se hicieron triplicados de las muestras.

Por su parte para la determinación del pH se utilizó el Método potenciométrico 4500-H+B de Standard Methods, se pesó 5 g del ROC y se adicionaron 50 mL de agua destilada para formar una relación 1:10, se agitó durante un tiempo de 30 minutos, se dejó reposar por 15 minutos, y para finalizar se hizo la medición, para el hidrochar solo cambió el peso de la muestra que fue 1 g y se mantuvo la relación 1:10.

Carbonización hidrotérmica

La carbonización hidrotérmica se llevó a cabo usando un diseño factorial 2³ para observar el comportamiento y los resultados del proceso a diferentes valores de temperatura y tiempo. Las condiciones experimentales fueron 180, 190, 200 y 210 °C a 1, 2 y 3 h.

El reactor consiste en un cilindro de acero inoxidable con capacidad de 1L que está recubierto por una chaqueta de calentamiento capaz de alcanzar los 400 °C. Existe la presencia de un manómetro y dos termopares con el propósito de medir la presión y temperatura generadas en el interior del reactor durante el proceso, así como la temperatura de la chaqueta. Las mediciones fueron monitoreadas en todo momento por el panel de control.

Se pesaron 350 g de ROC previamente acondicionados, junto con 350 g de agua, que fueron introducidos en el reactor para generar una relación 1:1 de biomasa-agua. Una vez introducida la muestra se cerró y selló a presión apretando debidamente las tuercas alrededor de la tapa para posteriormente encenderlo, la presión y la temperatura fueron medidas durante toda la duración del experimento. La estabilización del reactor para llegar a la temperatura deseada tardó entre 4.5-6 h. Pasado el tiempo establecido se apagó el reactor y se esperó entre 30 a 60 minutos para permitir su enfriamiento, esto con el fin de poder medir el gas obtenido del proceso de HTC, cabe mencionar que la presión se mantuvo siempre entre 1-2.5 MPa durante la carbonización.

Después de concluido el proceso de HTC se procedió a retirar el hidrochar y el bioaceite del reactor, los productos fueron puestos en una compresa quirúrgica para así poder comprimir y separar la mayor cantidad de cada fracción, el bioaceite fue filtrado con papel filtro, se pesó y almacenó en envases de vidrio. El hidrochar fue secado durante 2 h a 105 °C debido a la humedad presente en el producto, pero evitando su quema dentro del equipo, una vez seco el hidrochar por medio de un mortero se trituró y se almacenó en bolsas herméticas de plástico para posteriores análisis.

Poder calorífico

El procedimiento para la obtención del poder calorífico se hizo utilizando una bomba calorimétrica que basa su funcionamiento en un sistema aislado constituido por dos partes genéricas, el reactor que es la bomba de combustión, donde se produce dicho proceso que libera el calor, así como un sistema autorregulado de camisa de agua que rodea el reactor y constituye el sistema que absorbe el calor liberado junto con el resto de los materiales. La masa de sustancia se combustiona para determinar el valor de calor de combustión en presencia de oxígeno. El método está basado en la Norma ASTM D5865 Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke.

Espectroscopia infrarroja

La espectroscopia infrarroja fue realizada por un espectrómetro tensor 37 de la marca Bruker con una resolución de 1 cm^{-1} y un modo de Reflectancia Total Atenuada (ATR), los espectros resultan ser complementarios para el entendimiento del proceso de HTC, ya que permite conocer los grupos funcionales, así como el cambio entre la muestra de ROC y el hidrochar.

Resultados y discusión

Acondicionamiento del ROC

La trituración del material que ingresa a la planta de separación dificultó la identificación de los residuos orgánicos, debido a esto la separación se dio solamente entre fracción inorgánica y orgánica siendo la muestra representativa 20.156 kg, donde aproximadamente el 97 % fue residuo orgánico visible, sin embargo, cabe mencionar que existieron trazas de material inorgánico dentro de ese porcentaje, los cuales fueron difíciles de separar por su tamaño.

Caracterización Físicoquímica

La caracterización físicoquímica de los ROC presentada en la Tabla 2 muestra una humedad baja respecto a otros residuos donde se obtienen valores de 80-95 % [10], esto puede deberse a la trituración que se le realiza en la planta de separación y por ello se pierde parte de su humedad en el proceso. El pH no varía de manera significativa. Resulta importante destacar que el % SV es mayor en comparación con el % ST, por lo que para el residuo existe mayor cantidad de materia orgánica volátil de los sólidos totales contenidos en la muestra, esto supone que gran cantidad de los residuos orgánicos es agua y se pierde en el proceso de secado, a pesar de la baja humedad, la variación de las cenizas se asume que se debe a la composición de la muestra y a que quedan partículas pequeñas que no son posibles de identificar por lo que no se sabe completamente dicha composición de la muestra heterogénea.

Tabla 2 Caracterización físicoquímica de los ROC

Lote	Humedad (%)	ST (%)	SV	Cenizas	pH
1	67.69	32.31	46.86	53.14	5.81
2	62.60	37.40	52.84	47.16	6.81
3	56.23	43.77	50.72	49.28	5.92
4	59.01	40.99	46.52	53.48	6.39
5	56.11	43.89	47.20	52.80	6.35

La caracterización físicoquímica del hidrochar que se muestra en la Tabla 3, posee las mismas variables que el ROC, en este caso el pH se mantuvo relativamente constante en valores de 5.8-6.4 por lo que no se consideró relevante igual que para la biomasa [10, 11]. La humedad varió dependiendo las condiciones, aproximadamente entre 1-40 % lo que se atribuye mayormente a la adición en proporción 1:1 de agua, con respecto a la biomasa, por ello se obtuvo una buena cantidad de bioaceite y debido a que la separación de estas fracciones fue manual, la parte líquida posiblemente no se retiró completamente de la misma manera para cada corrida. En cuanto a los valores de los sólidos totales (ST) en base seca variaron entre el 76-98 %, aumentando en comparación a la biomasa residual, pero variando debido a la presencia de bioaceite. Para el caso de los sólidos volátiles (SV), estos disminuyeron aunque se mantuvieron en valores altos, lo que nos indica que una fracción de los compuestos orgánicos forman parte de la fase líquida y gaseosa, en el caso de las cenizas, se acrecentaron con respecto a la biomasa, ya que el carbón posee aun gran cantidad de trazas de residuos inorgánicos presentes también en el residuo, aunado a esto también se debe al incremento de la temperatura, debido a que gran parte de la ceniza queda en el producto sólido, por lo que el contenido de cenizas se puede tomar como un inverso del rendimiento de masa y de calidad para el hidrochar [12, 8].

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica del hidrochar

Condiciones		Humedad %	ST %	SV %	Cenizas %	pH
Temperatura (°C)	Tiempo (h)					
180	1	23.58	76.42	46.45	53.55	6.45
180	2	37.73	62.27	41.65	58.35	6.24
180	3	16.10	83.90	41.39	58.61	6.46
190	1	27.25	72.75	54.57	45.43	6.41
190	2	30.44	69.56	39.16	60.84	5.69
190	3	25.61	74.39	46.28	53.72	5.97
200	1	4.60	95.40	48.00	52.00	5.93
200	2	22.67	77.33	43.05	56.95	6.05
200	3	1.66	98.34	33.66	66.34	5.88
210	1	12.78	87.22	29.24	70.76	5.96
210	2	12.53	87.47	34.53	65.47	6.15
210	3	11.40	88.60	32.99	67.01	6.17

Poder calorífico y rendimiento

Debido a la adición de agua en una relación 1:1 con la biomasa se obtuvo una cantidad de bioaceite valorable, donde su rendimiento fue equivalente al hidrochar. El mejor rendimiento para la obtención de hidrochar fue a 210 °C, 3 h en base húmeda teniendo un valor de 53.14 %. Para la obtención del bioaceite el mejor rendimiento fue a 190 °C, 1 h, con un porcentaje de 67.14 %, en el caso de que este producto sea relevante para algún otro co-procesamiento. Con respecto al poder calorífico el ROC húmedo tuvo un valor de 2.99 MJ/kg, lo que es muy por debajo del valor óptimo para el hidrochar que fue a 190 °C y 1 h con 17.6 MJ/kg, obteniendo un rendimiento en base húmeda del 38 %, lo cual es bueno considerando que esta condición también fue la óptima para la obtención de bioaceite. La Figura 1 presenta la comparación de los valores de poder calorífico respecto al tiempo para cada temperatura, mostrando que en general el tiempo influyó de manera negativa a este parámetro y lo óptimo fue a 1 h para todas las temperaturas, por lo tanto, se hace hincapié que la relación biomasa- agua tiene un efecto importante a considerar dentro del proceso de HTC, además el aumento de temperatura se considera la variable a resaltar [13, 12, 14]

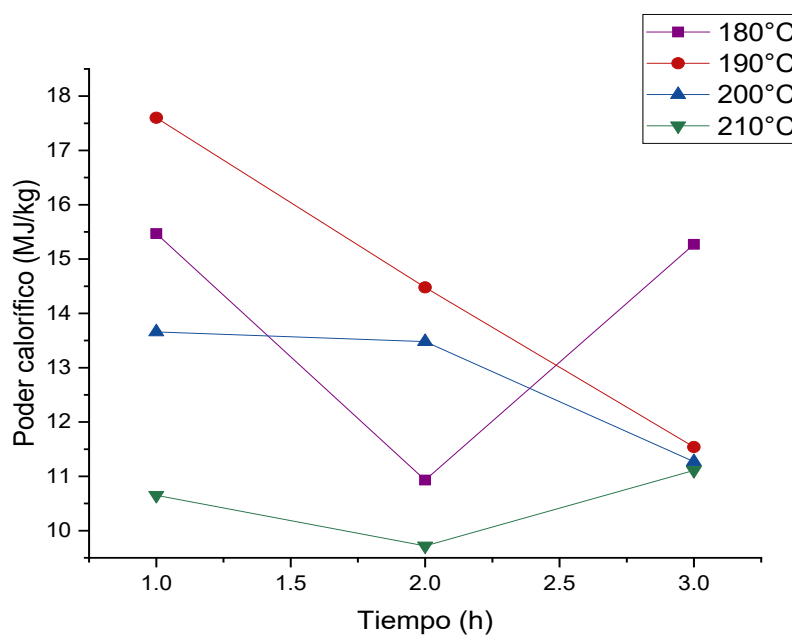


Figura 1. Comparación del poder calorífico a diferentes valores de temperatura y tiempo

Resulta importante mencionar que para este reactor fue posible la captación y contabilización del gas, mediante un desplazamiento por volumen, que varió entre 2-8 L, donde el proceso se mantuvo en un intervalo de 1-2 MPa dependiendo las condiciones. La Figura 2 muestra la comparación del volumen del gas a los diferentes tiempos en cada temperatura, donde se muestra que este aumentó conforme se incrementó tanto la temperatura como el tiempo, lo que nos lleva a reafirmar lo dicho anteriormente que el carbono de este proceso no forma parte solo de la fase sólida y líquida sino también de la gaseosa.

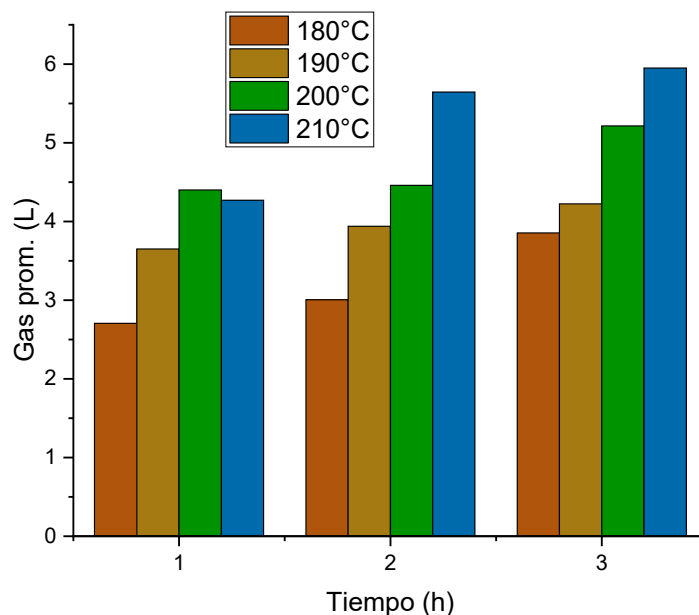


Figura 2. Generación de gas en el reactor semiautomatizado

Espectroscopia IR

Se realizó un análisis IR primeramente al ROC para conocer su composición, en la Figura 3 se muestra la comparación de este espectro respecto a la condición óptima del hidrochar con mejor poder calorífico que fue 190°C a 1h. Existe un pico muy fuerte en el número de onda 1000 cm^{-1} que es propio de C-O especialmente en alcoholes, así como de grupos metileno (CH_2), como también lo indican las bandas en 1400 y 1600 cm^{-1} , además hay presencia de picos alrededor de 2750 cm^{-1} y 3500 cm^{-1} , lo cual nos indica aunque un poco desplazados se encuentra la presencia de O-H característico del agua y de algún grupo CH metino, en cuanto al hidrochar los picos son similares pero con una mejor definición y alargamiento de los mismos, además hay una aparición más detallada de vibraciones en 1500 cm^{-1} , lo que indican enlaces C=C- propios de anillos aromáticos, por lo que podemos afirmar que existe una mayor agrupación de compuestos carbonosos y un incremento en los enlaces, por ello el aumento del poder calorífico [13, 14].

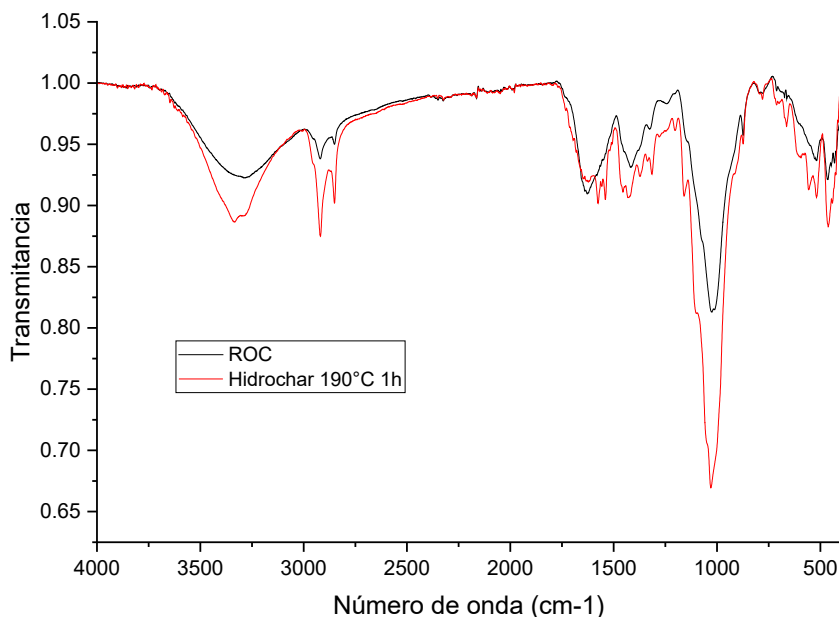


Figura 3. Comparación de los espectros IR del ROC y el hidrochar óptimo

Trabajo a futuro

Se sugiere estudiar a fondo las propiedades de cada residuo orgánico y como afecta su proporción dentro de la muestra al resultado del poder calorífico. También de acuerdo con la afectación que tiene la relación biomasa-agua en el proceso, se propone hacer variaciones en este parámetro con el fin de llegar a la relación óptima que permita la obtención de un poder calorífico más alto. Así mismo se recomienda estudiar a fondo las propiedades del bioaceite debido que este producto podría usarse en otros procesos, ya que se sospecha tiene gran cantidad de compuestos orgánicos. Finalmente se plantea que el tiempo de estabilización del reactor se considera prolongado por lo que resulta conveniente realizar un análisis técnico-económico para conocer la viabilidad de dicho proceso, tal como las ventajas y/o desventajas de la carbonización hidrotérmica como una alternativa al tratamiento de los residuos orgánicos complejos y la generación de bioenergéticos.

Conclusiones

El acondicionamiento de la biomasa residual resulta necesario debido a las trazas de residuos inorgánicos presentes en la muestra, las cuales podrían alterar el tiempo de estabilización de la temperatura en el reactor. La caracterización denota un cambio en las propiedades después del proceso de HTC como un mayor porcentaje en los sólidos totales y cenizas y una disminución de la humedad y los sólidos volátiles, el pH se mantuvo relativamente constante y similar entre el residuo y el hidrochar. Las variables de operación afectan las características del hidrochar y bioaceite, donde la condición óptima fue 190 °C a 1 h con un poder calorífico de 17.6 MJ/kg, que fue 14 veces superior a la biomasa residual, además tuvo un rendimiento en base húmeda del 38 %, de igual manera esta fue la condición óptima para la obtención de bioaceite teniendo un rendimiento de 67.14 %. La temperatura fue el factor más influyente para este residuo y el tiempo afectó de manera negativa en el proceso de HTC a estas condiciones. El volumen de gas generado en el proceso de HTC aumentó conforme se incrementó la temperatura y el tiempo por lo que resulta importante considerarlo más adelante. La espectroscopia IR demostró que existen diversos enlaces propios de los compuestos carbonosos y estructuras aromáticas, lo que apoya los resultados del incremento del poder calorífico del hidrochar con respecto a la biomasa residual.

Agradecimientos

Al COVEICyDET por el financiamiento a través del proyecto 15 1447/2021. A la planta ECORI por las facilidades prestadas para la obtención de muestras. A la empresa Geocycle por el apoyo brindado en las determinaciones al hidrochar obtenido. Al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Querétaro por el apoyo prestado para la caracterización de las muestras. Al CONACyT por la beca otorgada para la realización de los estudios de Maestría.

Referencias

- [1] O. M. Ambiente, "Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe," *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe*. Ciudad de Panamá, Panamá, 2018.
- [2] J. Ochoa, "Plan de manejo de residuos sólidos. CÓDIGO: EDUCOL-SGC-DOC-004," 2020.
- [3] SEMARNAT, "Residuos Sólidos Urbanos", *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*, 2020.
- [4] A. Białowiec, J. Pulka, P. Stępień, P. Manczarski & J. Gołaszewski, "The RDF/SRF torrefaction: An effect of temperature on characterization of the product—Carbonized Refuse Derived Fuel," *Waste Management*, vol. 70, pp. 91-100, 2017.
- [5] M. Fantini, "Biomass availability, potential and characteristics". *Biorefineries*. Springer, Cham, pp. 21-54, 2017.
- [6] K. Xiao, H. Liu, Y. Li, L. Yi, X. Zhang, H. Hu and H. Yao, "Correlations between hydrochar properties and chemical constitution of orange peel waste during hydrothermal carbonization," *Bioresource Technology*, vol. 265, pp. 432–436, 2018.
- [7] M. Maniscalco, M. Volpe and A. Messineo, "Hydrothermal Carbonization as a Valuable Tool for Energy and Environmental Applications: A Review," *Energies*, vol. 13, no. 16, pp. 4098, 2020.
- [8] K. Weber & P. Quicker, "Properties of biochar," *Journal Fuel*, vol. 217, pp. 240-261, 2018.
- [9] M.A., Sánchez, "ECO-LIBRO Orizaba," *Orizaba: Ayuntamiento de Orizaba*, 2021.
- [10] C. M. Valeriano, N. A. V. Cantú, A. A. Lassman, J. M. M. Contreras & A. M. Sibaja, "Caracterización fisicoquímica de hidrochar, producido a partir de la fracción sólida de residuos de frutas y verduras y residuos cítricos," *RINDERESU*, vol. 5, 2021.
- [11] M. A. Martín, R. Fernández, M. C. Gutiérrez & J. A. Siles, "Thermophilic anaerobic digestion of pre-treated orange peel: Modelling of methane production," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 117, pp. 245-253, 2018.
- [12] M. Wilk, A. Magdziarz, I. Kalemba-Rec and M. Szymańska-Chargot, "Upgrading of green waste into carbon-rich solid biofuel by hydrothermal carbonization: The effect of process parameters on hydrochar derived from acacia," *Energy*, vol. 202, pp. 117717, 2020.
- [13] Z. Zhang, Z. Zhu, B. Shen & L. Liu, "Insights into biochar and hydrochar production and applications: a review," *Energy*, vol. 171, pp. 581-598, 2019.
- [14] P. Kantakanit, N. Tippayawong, S. Koonaphapdeelert & A. Pattiya, "Hydrochar generation from hydrothermal carbonization of organic waste," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, vol. 159. pp. 012001, 2018.

Determinación de condiciones de operación del ultrasonido para la extracción de lípidos de *Chlorella vulgaris*

L. Rodríguez-Ramírez¹, P.N. Robledo-Narváez^{1*}, L.A. Ortega-Clemente², A.L. Vázquez-Larios¹, B. Gutiérrez-Rivera¹

¹Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Tecnológico Nacional de México, Av. Veracruz S/N, Esq. Héroes de Puebla, Col. Pemex, C.P. 95180, Tierra Blanca, Veracruz, México.

²Instituto Tecnológico de Boca del Río, Tecnológico Nacional de México, Carretera Veracruz-Córdoba Km. 12, C.P. 94290, Boca del Río, Veracruz, México.

*p.robledo@itstb.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

La pared celular de las microalgas es muy rígida debido a que está compuesta por polisacáridos, proteínas y lípidos, consecuentemente, los componentes de interés no están disponibles fácilmente y se requiere romper la pared celular con métodos mecánicos como el ultrasonido para facilitar la transferencia de masa de los extractos al disolvente. En este trabajo se evaluó la extracción de lípidos por ultrasonidos empleando *Chlorella vulgaris* y un diseño experimental factorial 3², se evaluaron tres niveles de tiempo (300 s, 1050 s, 1800 s) y tres niveles de potencia (250 W, 450 W, 650 W), la variable de respuesta fue el porcentaje lipídico. La potencia es el factor con mayor impacto para mejorar la extracción lipídica, el rendimiento más alto de lípidos fue de 13.93 ± 0.053 % bajo la condición de 1050 s y 650 W.

Palabras clave: Ultrasonido, Microalgas, Extracción, Lípidos.

Abstract

The cell wall of microalgae is very rigid because it is composed of polysaccharides, proteins and lipids. Consequently, the components of interest are not readily available and breaking the cell wall with mechanical methods such as ultrasound is required to facilitate mass transfer of the extracts to the solvent. In this study, lipid extraction by ultrasound was evaluated using *Chlorella vulgaris* and a 3² factorial experimental design. Three time levels (300 s, 1050 s, 1800 s) and three power levels (250 W, 450 W, 650 W) were evaluated, the response variable was the lipid percentage. Power is the factor with the greatest impact to improve lipid extraction, the highest lipid yield was 13.93 ± 0.053% under the condition of 1050 s and 650 W.

Key words: Ultrasound, Microalgae, Extraction, Lipids.

Introducción

Las microalgas son microorganismos, en forma unicelulares o multicelular, que comprenden protistas, eucariotas y cianobacterias procariotas. Las microalgas eucariotas incluyen tanto diatomeas como algas verdes y las microalgas procariotas comprende las cianobacterias. Varios estudios han demostrado que los sistemas de cultivo de microalgas pueden absorber hasta 200 veces más CO₂ que los árboles, sin embargo, se requieren niveles específicos de dióxido de carbono para diferentes tipos de microalgas [1]. La biomasa de microalgas se puede utilizar en diferentes áreas como la producción de alimentos para humanos, productos de salud, nutraceuticos, fertilizantes agrícolas, biocombustibles y otros derivados bioquímicos [2]; es rica en lípidos, carbohidratos y proteínas, por lo tanto, pueden ser una excelente materia prima para la generación de biocombustibles como biodiésel, biometano, biohidrógeno, etcétera, y para aplicaciones alimentarias como acuicultura y animales. Así mismo, la biomasa de microalgas también puede ser aplicada en la obtención de productos de alto valor agregado como pigmentos, nutraceuticos, bioplásticos, etcétera [3].

La membrana celular de las microalgas está compuesta de lípidos polares (fosfolípidos y glicolípidos) y lípidos no polares que se almacenan dentro de las células de algas y se utilizan como fuente de energía. Actualmente, se emplean métodos mecánicos, químicos o combinados para la extracción de lípidos. En el enfoque tradicional, el disolvente químico polar altera la proteína lipídica en la membrana, y el disolvente no polar separa los lípidos no polares [4, 5]. Algunas de las técnicas de extracción convencionales para obtención de lípidos de microalgas son

la maceración o difusión, la extracción de Soxhlet, que su mecanismo funciona a diferentes temperaturas y presiones. Sin embargo, algunas de las desventajas mencionadas en la literatura sobre las técnicas convencionales es que no son eficientes por el alto consumo de solventes, son costosas porque la extracción de lípidos representa del 30-40 % de los costos totales de producción de biodiesel, requieren mayor tiempo de procesamiento de hasta 6-24 horas y las temperaturas elevadas utilizadas en dichos métodos pueden degradar las biomoléculas extraídas [6, 7]. Además, las técnicas convencionales requieren de procedimientos de deshidratación y secados preliminares de la biomasa algal, que generalmente no es factible ya que consume energía y es costoso, el proceso de cosecha y secado consume casi 20-30 % del costo total de producción de biodiesel, Fasaei *et al.*, (2018) informaron que el costo y consumo de energía de recolección y deshidratación de microalgas fue de 0.1-0.6 € kg⁻¹ de microalga y 0.1-0.7 kWh kg⁻¹ de microalga respectivamente, en sistemas cerrados concentrados. Por lo tanto, se requiere la extracción de lípidos de biomasa fresca concentrada [8, 9].

El rendimiento de las técnicas convencionales se puede mejorar con el uso de combinación de métodos mecánicos y físicos, para causar un daño de las membranas y paredes celulares, y aumentar los procesos de transferencia de masa durante la extracción. Las técnicas de extracción se pueden clasificar en métodos químicos, enzimáticos, mecánicos y físicos (ultrasonido, microondas, campos eléctricos pulsados y descargas eléctricas de alto voltaje). La combinación de la interrupción celular y disolventes puede lograr una mayor eficiencia de extracción de lípidos y disminuir los costos de operación [6, 10].

La pared celular de las microalgas es compleja ya que está compuesta de polisacáridos, proteínas, lípidos y sales inorgánicas, por ende, los componentes de las microalgas no están disponibles fácilmente [11]. En los últimos años, se han investigado diferentes enfoques innovadores para la extracción de lípidos, como la extracción de fluidos supercríticos, la extracción asistida por ultrasonido, la extracción asistida por microondas, entre otros. En diferentes estudios se ha demostrado que las técnicas emergentes superan las deficiencias de las técnicas convencionales y mejoran la extracción de lípidos y la actividad bioactiva de los extractos [5]. Los tratamientos de ultrasonido han causado interrupción de las paredes celulares de varias especies de microalgas con menos consumo de energía y mejoramiento del rendimiento de diferentes compuestos [11].

La principal fuerza impulsora en el mecanismo del ultrasonido es la cavitación acústica, cuando el ultrasonido se propaga por cualquier medio, provoca una serie de cambios alternos de presión y causa la formación de fenómenos de expansión y colapso implosivo de microburbujas en líquidos irradiados por ultrasonido y se conoce como "cavitación acústica". La implosión de burbujas de cavitación da como resultado un micro-chorro que genera varios efectos como pelado de la superficie, erosión y ruptura de partículas, de igual forma la implosión de burbujas de cavitación en un medio líquido conduce a cambios de temperatura y presión que provocan el adelgazamiento de las membranas y la ruptura celular, consecuentemente da como resultado una mayor penetración del disolvente en las células y la amplificación de la transferencia de masa de los compuestos objetivo al disolvente. La implosión de burbujas de cavitación de igual forma también genera turbulencias a nivel microscópico, choques entre partículas de alta velocidad y agitación en partículas microporosas de la matriz, lo que acelera la difusión [7, 12, 13]. En este estudio se evaluó tres tiempos (300 s, 1050 s, 1800 s) y tres potencias (250 W, 450 W, 650 W) de ultrasonido con biomasa húmeda de la microalga *Chlorella vulgaris*, con el objetivo de determinar las mejores condiciones de operación respecto al mayor rendimiento de lípidos.

Metodología

Cepa microalgal y condiciones de cultivo

En este estudio se utilizó la cepa *Chlorella vulgaris* procedente de una colección del Departamento de Acuicultura del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) con clave CLV2. La cepa se propagó en Medio Bold Basal (volúmenes de 500 y 1000 mL), con la siguiente composición: NaNO₃ (0.25 g L⁻¹), CaCl₂·2H₂O (0.025 g L⁻¹), MgSO₄·7H₂O (0.075 g L⁻¹), K₂HPO₄ (0.075 g L⁻¹), KH₂PO₄ (0.175 g L⁻¹), NaCl (0.025 g L⁻¹), solución de elementos traza (1 mL L⁻¹) y solución de vitaminas (1 mL L⁻¹) [14]. La densidad celular inicial de los cultivos fue de 1x10⁶ cel mL⁻¹, se expusieron a una intensidad de luz de 51.7 μmol m⁻² s⁻¹ y se incubaron a una temperatura de 21 °C. Se tomó 1 mL de cultivo cada 24 horas y se realizó un conteo celular con la cámara de Neubauer de 0.1 mm de profundidad y un microscopio óptico, para obtener la curva de crecimiento y sus diferentes fases.

Determinación del rendimiento de biomasa

Para la determinación del rendimiento de biomasa se empleó el cultivo en fase estacionaria, se pesó una membrana de papel filtro cualitativos marca Ahlstrom Munksö de 9 cm de diámetro, previamente secada en estufa marca ECOSHEL 9025H a 60 °C por 24 horas (pms), se filtró 400 mL del cultivo de microalga sobre la membrana seca y se tomó el peso de la membrana con la biomasa húmeda filtrada (pmbh). Se llevó la membrana a la estufa a 60 °C por 24 horas, y se registró el peso de la membrana con la biomasa seca (pmbs). Finalmente, para determinar la biomasa en base húmeda (BH) y en base seca (BS) en unidades g L⁻¹, se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$BH (g L^{-1}) = \frac{pmbh-pms}{400 mL} \quad (1)$$

$$BS (g L^{-1}) = \frac{pmbs-pms}{400 mL} \quad (2)$$

Método de extracción de lípidos convencional (Soxhlet)

La biomasa seca (m) se sometió a extracción Soxhlet con una mezcla de cloroformo: metanol (1:1 v/v), para determinar la cantidad de lípidos totales [15]. Se secó el matraz de extracción por 24 horas a 60 °C en una estufa marca ECOSHEL 9025H y se registró el peso del matraz (pm). Se colocó el matraz en el sistema Soxhlet y se adicionó la mezcla de solvente al matraz, se extrajo la muestra con 6 reflujos del sistema. Se secó el matraz con el extracto lipídico en la estufa a 60 °C por 24 horas y se tomó el peso del matraz con lípidos (pmcl). El porcentaje de lípidos se estimó con base en la siguiente expresión:

$$\text{Lípidos (\%)} = \frac{pmcl-pm}{m} \times 100 \quad (3)$$

Extracción de lípidos por ultrasonido

Se realizó una modificación del método de Adam *et al.*, (2012) [16] para la extracción por ultrasonido. Se sometió 100 mL de cultivo de microalga en fase estacionaria a ultrasonido continuo (las características del equipo se muestran en la Tabla 1 y Figura 1), con una temperatura de 40 °C. Posterior al tratamiento se agregó a la muestra una mezcla de solvente de hexano: isopropanol 3:2 v/v y se centrifugó la muestra por 15 min a 2500 rpm. La muestra se vertió en un embudo de separación de 250 mL (Figura 2a) y se dejó en reposo por 24 horas para la separación de las fases (fracción lipídica superior y fracción hidroalcohólica inferior). Se recolectó la fracción lipídica en un tubo de ensayo previamente tarado (pt) (Figura 2b) y se evaporó el solvente en estufa a 40 °C. Se determinó el peso del tubo de ensayo con la grasa seca (ptcl) y se calculó el porcentaje de lípidos con la siguiente expresión:

$$\text{Lípidos (\%)} = \frac{ptcl-pt}{m} \times 100 \quad (4)$$

Tabla 1 Características del homogeneizador ultrasónico.

Característica	Descripción
Marca	Baoshishan
Frecuencia nominal	20 KHz
Fuente de alimentación	85-260 V/50-60 Hz
Regulación de potencial	1-100 %
Ajuste de temperatura	0-300 °C
Modo de operación	Pulso, tiempo y continuo
Modelo de la sonda	FS-650N
Sonda estándar	8 mm
Potencia total	650 W
Volumen de procesamiento	0.1-800 mL

Diseño experimental

En la evaluación del efecto de tiempo (s) y potencia (W) de ultrasonido para la extracción de lípidos de microalgas se implementó un diseño experimental factorial 3², el experimento se realizó por triplicado y en la Tabla 2 se muestra los respectivos factores y niveles.

Tabla 2 Factores y niveles del diseño experimental factorial 3² para la evaluación del efecto de tiempo y potencia de ultrasonido.

Factores	Niveles	Valores
Tiempo (s)	3	300 s, 1050 s, 1800 s
Potencia (W)	3	250 W, 450 W, 650 W



Figura 1 Homogeneizador ultrasónico marca Baoshishan.

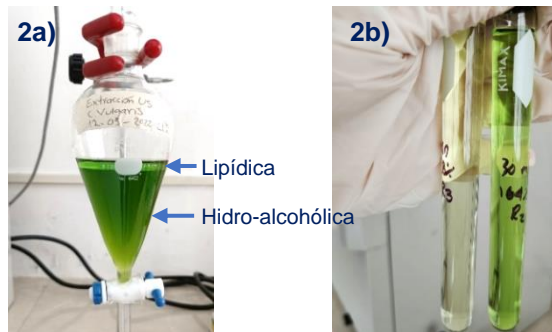


Figura 2 a) Separación de la fracción lipídica, b) Recolectación de la fracción lipídica en tubos de precipitado.

Resultados y discusión

Crecimiento del cultivo y características de la biomasa

De acuerdo con lo observado en la Figura 3, del día 1-3 se muestra la fase de inducción en donde las células comienzan a absorber los nutrientes y a adaptarse al medio, posteriormente hubo un crecimiento exponencial hasta el día 9 en los volúmenes de 500 y 1000 mL debido a que se presentó mayor división celular que en resto de las fases, en el día 10 comenzó la fase estacionaria. Es importante conocer las fases de crecimiento, ya que la biomasa de *Chlorella vulgaris* cultivada en Medio Basal Bold estéril será utilizada para la extracción de lípidos, la cual fue cosechada después del día 10 (fase estacionaria), porque se presentó mayor densidad celular, así mismo, se seleccionó el volumen de 1000 mL. La biomasa que se utilizó para los experimentos tiene las siguientes características, producción de $0.6 \pm 0.0043 \text{ g L}^{-1}$ (base seca), $29.82 \pm 0.3785 \%$ de lípidos totales (extracción por método Soxhlet) y producción de lípidos de $179 \pm 1 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabla 3).

En estudios recientes, Yun *et al.*, (2020) determinaron la producción de biomasa (base seca) y lípidos totales de *Chlorella vulgaris* en fase estacionaria reportando 0.71 g L^{-1} y 19.31% respectivamente, en medio sintético y alta irradiancia [17]. Obtuvieron mayor biomasa seca que en este trabajo, pero menor porcentaje lipídico. Por otro lado, Lage *et al.*, (2021) en un sistema de canalización al aire libre con *Chlorella vulgaris* y aguas residuales municipales como sustrato reportan $0.23 \pm 0.07 \text{ g L}^{-1}$ de biomasa [18], siendo menor la producción de biomasa que la del presente trabajo. Las diferentes condiciones de cultivo son las responsables de las diferencias de resultados con otros autores a pesar de ser la misma especie, sin embargo, los resultados obtenidos son comparables con otros estudios.

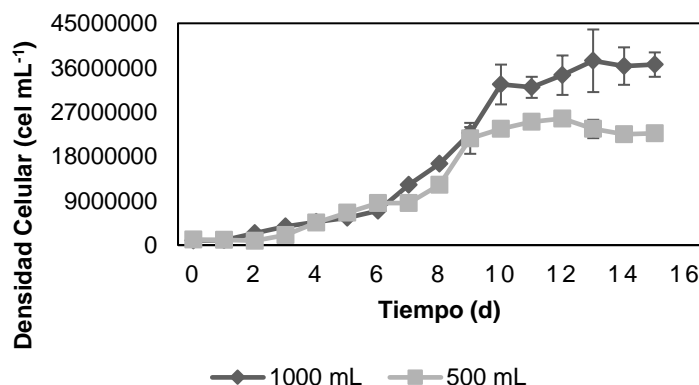


Figura 3 Crecimiento de la microalga *Chlorella vulgaris* en Medio Bold Basal.

Tabla 3 Características de la biomasa de *Chlorella vulgaris* en fase estacionaria.

Parámetros	Resultado
Biomasa base húmeda	16.10 ± 0.1842 g L ⁻¹
Biomasa base seca	0.6 ± 0.0043 g L ⁻¹
Lípidos totales	29.82 ± 0.3785 %
Producción de lípidos	179 ± 1 mg L ⁻¹
Densidad celular	32.01×10 ⁶ ± 2.14×10 ⁶ cel mL ⁻¹

Porcentaje de lípidos extraídos por ultrasonido

En la Tabla 4, se enlista los resultados de los lípidos obtenidos por ultrasonido en diferentes condiciones, se muestra el porcentaje y la producción de lípidos. La gráfica de intervalos (Figura 4) indica que no hay diferencias significativas entre los tratamientos con potencia de 650 W, además se alcanzaron rendimientos de lípidos más altos con dicha potencia. Con el tiempo de 300 s y 1050 s se incrementa el porcentaje de lípidos al incrementar la potencia; sin embargo, con el tiempo de 1800 s no hay diferencias significativas al incremento de potencia. Por lo tanto, las diferentes condiciones de ultrasonido pueden aumentar la extracción de lípidos hasta un punto de equilibrio en donde el tiempo de exposición es suficiente y no se favorece la extracción al incrementar la potencia.

El mayor contenido de lípidos con ultrasonido fue de 13.93 ± 0.053 % y 83.63 ± 0.318 mg L⁻¹ para porcentaje y producción de lípidos respectivamente, y se obtuvo con 1050 s, 650 W, 20 kHz y mezcla de solventes hexano: isopropanol 1:1. En el estudio de Ellison *et al.*, (2019), utilizaron condiciones cercanas a las de este estudio, ya que también manejaron la cepa *Chlorella vulgaris*, 20 kHz de frecuencia, pero utilizaron hexano como solvente y mayor potencia y tiempo de 750 W y 30 min respectivamente, y obtuvieron 7.6 % de lípidos [19], que es menor que los resultados de este estudio; sin embargo, bajo las mismas condiciones pero con una mezcla de solventes cloroformo: metanol 1:1 obtuvieron 16.9 % de lípidos.

Tabla 4 Resultados de la obtención de lípidos de *Chlorella vulgaris* en diferentes condiciones de ultrasonido.

Tiempo (s)	Potencia (W)	Lípidos (%)	Producción de lípidos (mg L ⁻¹)
300	250	11.72 ± 0.278	70.33 ± 1.667
300	450	12.10 ± 0.056	72.67 ± 0.333
300	650	13.44 ± 0.056	80.67 ± 0.333
1050	250	12.22 ± 0.056	73.33 ± 0.333
1050	450	12.66 ± 0.096	76.00 ± 0.577
1050	650	13.93 ± 0.053	83.63 ± 0.318
1800	250	12.78 ± 0.029	76.70 ± 0.173
1800	450	12.87 ± 0.062	77.27 ± 0.371
1800	650	13.60 ± 0.200	81.67 ± 1.202

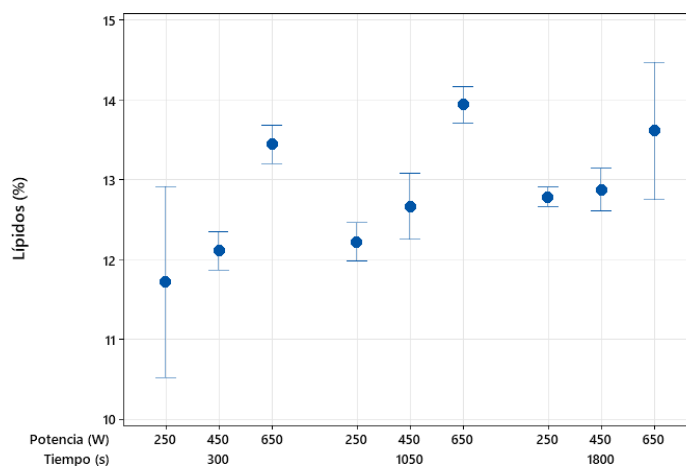


Figura 4 Gráfica de intervalos de lípidos de *Chlorella vulgaris* en diferentes condiciones de ultrasonido.

Efecto del tiempo y la potencia de ultrasonido

Los resultados obtenidos de los tratamientos se analizaron en el programa estadístico Minitab 20.3.0 (versión libre) con la finalidad de analizar el efecto de cada uno de los factores y determinar las mejores condiciones de procesamiento de ultrasonido. De acuerdo con el análisis de la varianza y con un nivel de confianza del 95 %, el tiempo, la potencia y la interacción de los factores afectan significativamente, ya que los valores de p-value son de 0.00001, 0.00000 y 0.01306 respectivamente (se consideró un valor de $p < 0.05$). El coeficiente de correlación en este trabajo fue de 93.83 %, cabe mencionar que los experimentos con R^2 mayor a 90 % tienen una validez estadística.

La gráfica de efectos principales (Figura 5) indica que el porcentaje de lípidos aumenta respecto al tiempo debido a que el aumento del tiempo de sonicación aumenta el contenido de los metabolitos liberados, ya que la interrupción celular requiere tiempo, así como la fragmentación celular completa y la liberación de los metabolitos solo podrían realizarse después de una duración suficiente de exposición [6, 7]. Así mismo, los lípidos aumentan con el incremento de potencia, esto se puede deber a que cuando la potencia o intensidad de onda es suficientemente alta, las fuerzas de atracción entre las moléculas en la fase líquida se superarán y se generarán cavidades en el líquido, esto proporciona fuerzas de cizallamiento violentas, alta presión y temperatura, por lo tanto, se genera una interrupción efectiva en las células [7]. Con base en lo anterior, se debe usar 1800 s y 650 W si se desea obtener mayor cantidad de lípidos de 13.60 ± 0.2 %.

En la Figura 6 se muestra el diagrama de Pareto de efectos estandarizados, el factor B (Potencia) tiene mayor efecto sobre en la obtención de lípidos, lo que indica que la potencia afecta los fenómenos de cavitación de burbujas, fuerzas de cizallamiento, erosión, descomposición de partículas, macroturbulencias y micromezclas. Estas perturbaciones generan mayor rompimiento en las paredes celulares y mejoran la penetración del disolvente dentro de la célula y facilitan la difusión [6].

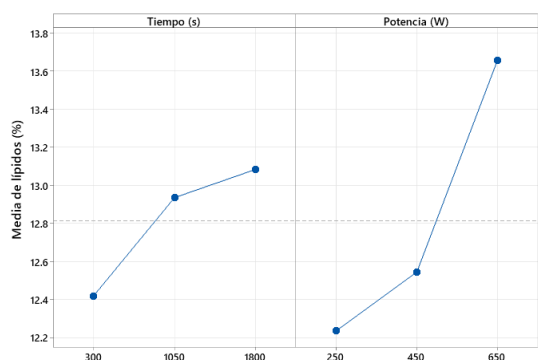


Figura 5 Gráfica de efectos principales de la extracción de lípidos (%) de *Chlorella vulgaris* por ultrasonido.

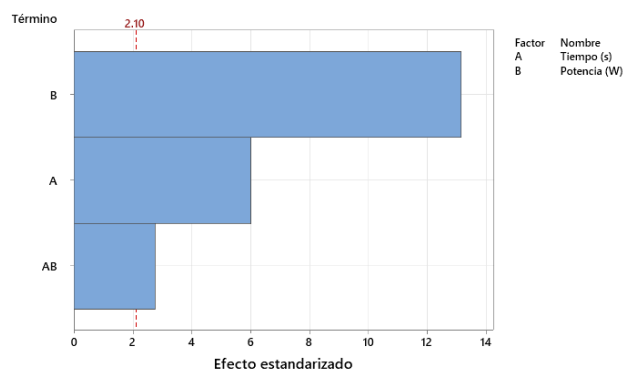


Figura 6 Diagrama de Pareto del efecto de los factores en la extracción de lípidos (%) de *Chlorella vulgaris* por ultrasonido.

En la gráfica de interacción (Figura 7) y superficie (Figura 8) se puede observar que se incrementa ligeramente el contenido lipídico al aumentar el tiempo de procesamiento, el tiempo de 300 s y 1050 s se comportan de forma similar, pero el tiempo de 1800 s en combinación con la potencia de 650 W es ligeramente menor que la combinación de 1050 s y 650 W (13.93 ± 0.053 %). La potencia de 250 W y 450 W tienen un comportamiento semejante, sin embargo, con la potencia de 650 W el contenido lipídico es significativamente más alto y disminuye ligeramente en conjunto con el tiempo de 1800 s, al aumentar el tiempo de exposición de ultrasonido con la potencia de 650 W, el contenido de lípidos disminuye debido a una posible degradación de estos.

Por lo tanto, se observa que al aumentar la potencia y el tiempo favorece la obtención de lípidos de la microalga *Chlorella vulgaris* por ultrasonido, en la Figura 9 se observa un cambio de color en diferentes condiciones, los tratamientos con la potencia y tiempo más altos presentan mayor coloración, lo que puede indicar una mayor concentración de lípidos o clorofilas, estos también obtuvieron mayor contenido lipídico. Con el proceso de ultrasonido, la alta tasa de extracción se puede lograr en poco tiempo, pero se requiere tener un control y equilibrio entre la intensidad y el tiempo para evitar efectos negativos ya que en la literatura se han reportado degradación de los metabolitos de interés con altas intensidades de potencia [5]. Así mismo, un largo período de exposición a la sonicación podría resultar la liberación de radicales libres, la oxidación de lípidos y la acumulación del calor generado [7].

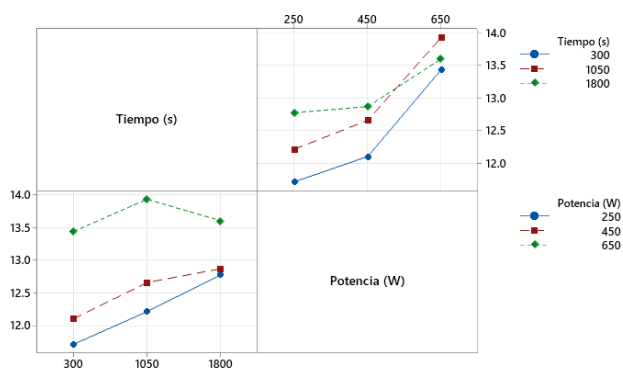


Figura 7 Gráfica de interacción de la extracción de lípidos (%) de *Chlorella vulgaris* por ultrasonido.

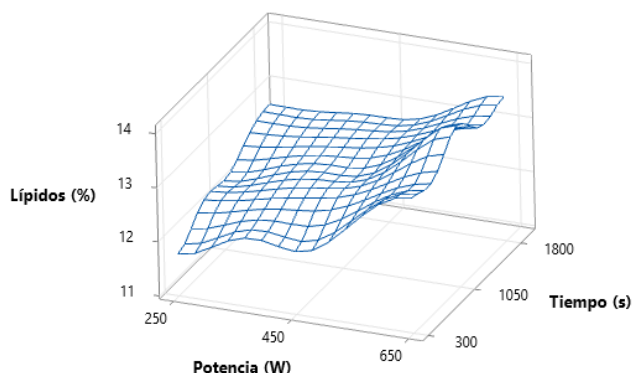


Figura 8 Gráfica de superficie de la extracción de lípidos (%) de *Chlorella vulgaris* por ultrasonido.



Figura 9 Cambio de color del extracto lipídico con diferentes condiciones de ultrasonido.

Extracción por ultrasonido en comparación con técnicas convencionales y emergentes

En la Figura 10 se compara el método de ultrasonido y Soxhlet, el método Soxhlet presentó mayor porcentaje lipídico, esta técnica convencional sirve como un estándar para cuantificar la eficiencia de extracción de lípidos, así mismo, sus deficiencias se están superando debido al desarrollo científico, no obstante, todavía hay algunas desventajas, tal como largos tiempos de extracción, alto consumo de reactivos y el impacto ambiental [6]. En efecto, es posible que el método Soxhlet arrastre mayor cantidad de impurezas o clorofilas en comparación con el ultrasonido. Otra gran desventaja del método Soxhlet es que requiere deshidratación de la biomasa, dado que aumentaría los costos de energía, al contrario, el ultrasonido no requiere biomasa seca, la temperatura en el proceso es baja y la energía requerida es menor [9], de lo anterior Eldiehy *et al.*, (2022) mencionan que se puede reducir la energía total consumida para la producción de biodiesel de 21-30 % a través de la extracción directa de lípidos utilizando biomasa húmeda [20].

La Tabla 5 indica una comparación de diferentes técnicas de extracción de lípidos de microalgas, en este estudio se obtuvo 13.93 ± 0.053 % de rendimiento de lípidos con ultrasonido, bajo las condiciones: 17.5 min, 650 W, 20 kHz y 40 °C. En el trabajo de Zou *et al.*, (2021) usaron *Chlorella vulgaris* bajo las condiciones de ultrasonido de 13.05 min, 247 W, 20-25 kHz y una mezcla de solvente de hexano: isopropanol 4:1, y alcanzaron 18.75 % de lípidos [4]. Es necesario recalcar que en la literatura se encuentran resultados comparables de rendimiento de lípidos por ultrasonido, sin embargo, varían por las diferentes condiciones de cultivos y técnica de extracción aunque se trate de la misma especie y el mismo método. Por otro lado, Ido *et al.*, (2018) presentaron 26.63 % de lípidos extraídos por ultrasonido con la cepa *Scenedesmus obliquus* [21]. En el trabajo de Ma *et al.*, (2014) se menciona que el método de ultrasonido y microondas no presentan cambios significativos, ya que con ambas técnicas extrajeron 11.6 % de lípidos con la microalga *Chlorella sp* [22].

En este trabajo, el rendimiento de lípidos con Soxhlet fue de 29.82 ± 0.38 %, se utilizó cloroformo: metanol 1:1, 6 reflujos y 125 °C, en cambio, Escorsim *et al.*, (2018) obtuvieron 20.60 % de lípidos de *Scenedesmus obliquus* con Soxhlet, hexano, 24 horas de extracción y 80 °C [23], los resultados con el método Soxhlet son eficientes, pero requiere largos tiempos de procesamiento. Con el método Bligh-Dyer, dos Santos *et al.*, (2015) lograron obtener 6 % de lípidos [24], posiblemente el método Bligh-Dyer se puede mejorar en combinación con ultrasonificación u otro método mecánico.

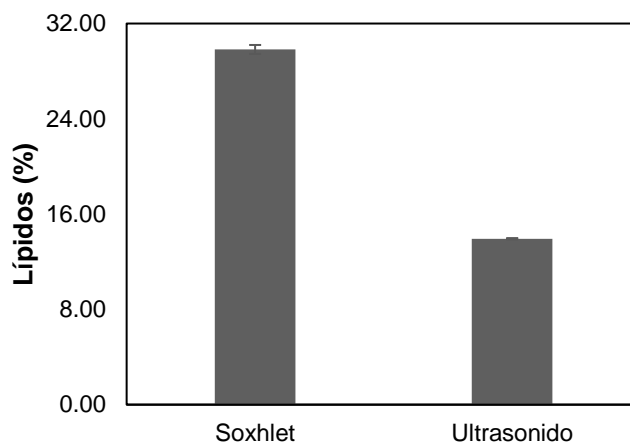


Figura 10 Comparación del método Soxhlet con ultrasonido a partir de la extracción de lípidos de *Chlorella vulgaris*.

Tabla 5 Comparación de diferentes técnicas de extracción de lípidos de microalgas.

Método	Cepa	Solventes	Condiciones	Rendimiento lipídico	Referencia
Ultrasonido	<i>Chlorella vulgaris</i>	Hexano: isopropanol 4:1	13.03 min, 247 W, 20-25 kHz	18.75 %	[4]
Soxhlet	<i>Scenedesmus obliquus</i>	Hexano	24 h y 80 °C	20.60 %	[23]
Ultrasonido	<i>Scenedesmus obliquus</i>	Hexano: isopropanol	24 kHz, 400 watts, 85 W	26.63 %	[21]
Bligh-Dyer	<i>Chlorella vulgaris</i>	Cloroformo: metanol	Agitación durante 6 min a 25 °C, centrifugación a 3500 rpm por 8 min a 4 °C	6 %	[24]
Ultrasonido	<i>Chlorella vulgaris</i>	Hexano: suspensión celular 1:1	30 min, 750 W, 20 kHz	7.6 %	[19]
Ultrasonido	<i>Chlorella sp.</i>	Diclorometano: metanol	40 kHz, 200 W, 10-20 min	11.6 %	[22]
Microondas	<i>Chlorella sp.</i>	Diclorometano: metanol	2.45 MHz, 530 W, 45-75 s	11.6 %	
Ultrasonido	<i>Chlorella vulgaris</i>	Hexano: isopropanol 3:2	17.5 min, 650 W, 20 kHz y 40 °C	13.93 ± 0.053 %	Este estudio
Soxhlet	<i>Chlorella vulgaris</i>	Cloroformo: metanol 1:1	6 reflujos y 125 °C	29.82 ± 0.38 %	

Trabajo a futuro

Se realizarán los análisis cromatográficos de los extractos de microalgas ya que es importante y necesario conocer el efecto del tiempo y potencia ultrasónica sobre las estructuras de los ácidos grasos.

Conclusiones

En la evaluación de la extracción de lípidos por ultrasonido de *Chlorella vulgaris*, la potencia tiene mayor impacto para aumentar el contenido de lípidos debido a que es un factor importante para generar una interrupción eficiente de las células y, por lo tanto, una mejor penetración del solvente. El tiempo también tiene un efecto significativo dado que se debe tener una duración suficiente de exposición de ultrasonificación para garantizar un procesamiento eficaz. El rendimiento más alto de lípidos fue de 13.93 ± 0.053 % con la condición de 1050 s y 650 W, sin embargo, al aumentar el tiempo a 1800 s con la potencia de 650 W, el contenido de lípidos disminuyó ligeramente a 13.60 ± 0.2 %, a causa de una posible degradación de estos, por lo tanto, el tiempo de 1050 s es mejor para incrementar el contenido lipídico y hacer un procesamiento más corto. En conclusión, las técnicas de extracción convencionales como Soxhlet y Bligh-Dyer han sido ampliamente utilizadas, pero causan daños al medio ambiente por el uso extensivo de solventes y los largos tiempo de extracción, por consiguiente, es necesario seguir investigando y mejorando las tecnologías emergentes como la ultrasonificación y buscar la forma de hacerlos más respetuoso con el medio ambiente.

Referencias

- [1] W. G. Morais Junior, M. Gorgich, P. S. Corrêa, A. A. Martins, T. M. Mata and N. S. Caetano, "Microalgae for biotechnological applications: Cultivation, harvesting and biomass processing," *Aquaculture*, vol. 528, p. 735562, 2020.
- [2] Č. Stevčić, K. Pulkkinen and J. Pirhonen, "Screening of microalgae and LED grow light spectra for effective removal of dissolved nutrients from cold-water recirculating aquaculture system (RAS) wastewater," *Algal Research*, vol. 44, p. 101681, 2019.
- [3] A. Guldhe, F. A. Ansari, P. Singh and F. Bux, "Heterotrophic cultivation of microalgae using aquaculture wastewater: A biorefinery concept for biomass production and nutrient remediation," *Ecological Engineering*, vol. 99, pp. 47-53, 2017.
- [4] X. Zou, K. Xu, W. Chang, Y. Qu and Y. Li, "Rapid extraction of lipid from wet microalgae biomass by a novel buoyant beads and ultrasound assisted solvent extraction method," *Algal Research*, vol. 58, p. 102431, 2021.
- [5] J. Zhou, M. Wang, J. A. Saraiva, A. P. Martins, C. A. Pinto, M. A. Prieto, J. Simal-Gándara, H. Cao, J. Xiao and F. J. Barba, "Extraction of lipids from microalgae using classical and innovative approaches," *Food Chemistry*, vol. 384, p. 132236, 2022.
- [6] R. Zhang, O. Parniakov, N. Grimi, N. Lebovka, L. Marcha and E. Vorobiev, "Emerging techniques for cell disruption and extraction of valuable bio-molecules of microalgae *Nannochloropsis* sp.," *Bioprocess and Biosystems Engineering*, vol. 42, pp. 173-186, 2019.
- [7] Y. Liu, X. Liu, Y. Cui and W. Yuan, "Ultrasound for microalgal cell disruption and product extraction: A review," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 87, p. 106054, 2022.
- [8] F. Fasaei, J. Bitter, P. Slegers and A. van Boxtel, "Techno-economic evaluation of microalgae harvesting and dewatering systems," *Algal Research*, vol. 31, pp. 347-362, 2018.
- [9] S. Yao, S. Mettu, S. Q. Law, M. Ashokkumar and G. J. Martin, "The effect of high-intensity ultrasound on cell disruption and lipid extraction from high-solids viscous slurries of *Nannochloropsis* sp. biomass," *Algal Research*, vol. 35, pp. 341-348, 2018.
- [10] H. Guo, J. Cheng, Y. Mao, L. Qian, W. Yang and J.-Y. Park, "Synergistic effect of ultrasound and switchable hydrophilicity solvent promotes microalgal cell disruption and lipid extraction for biodiesel production," *Bioresource Technology*, vol. 343, p. 126087, 2022.
- [11] J. Ahmed and V. Kumar, "Effect of high-pressure treatment on oscillatory rheology, particle size distribution and microstructure of microalgae *Chlorella vulgaris* and *Arthrospira platensis*," *Algal Research*, vol. 62, p. 102617, 2022.
- [12] F. Chemat, N. Rombaut, A.-G. Sicaire, A. Meullemiestre, A.-S. Fabiano-Tixier and M. Abert-Vian, "Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 34, pp. 540-560, 2017.
- [13] S. Vasistha, A. Khanra, M. Clifford and M. Rai, "Current advances in microalgae harvesting and lipid extraction processes for improved biodiesel production: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 137, p. 110498, 2021.
- [14] . R. A. Andersen, "Algal Culturing Techniques," in *Harmful Algae*, Elsevier Academic Press, 2006, pp. 620-621.

- [15] R. Halim, M. K. Danquah and P. A. Webley, "Extraction of oil from microalgae for biodiesel production: A review," *Biotechnology Advances*, vol. 30, pp. 709-732, 2012.
- [16] F. Adam, M. Abert-Vian, G. Peltier and F. Chemat, "'Solvent-free' ultrasound-assisted extraction of lipids from fresh microalgae cells: A green, clean and scalable process," *Bioresource Technology*, vol. 114, pp. 457-465, 2012.
- [17] H.-S. Yun, Y.-S. Kim and H.-S. Yoon, "Characterization of *Chlorella sorokiniana* and *Chlorella vulgaris* fatty acid components under a wide range of light intensity and growth temperature for their use as biological resources," *Heliyon*, vol. 6, p. e04447, 2020.
- [18] S. Lage, A. Toffolo and F. G. Gentili, "Microalgal growth, nitrogen uptake and storage, and dissolved oxygen production in a polyculture based-open pond fed with municipal wastewater in northern Sweden," *Chemosphere*, vol. 276, p. 130122, 2021.
- [19] C. R. Ellison, S. Overa and D. Boldor, "Central composite design parameterization of microalgae/cyanobacteria coculture pretreatment for enhanced lipid extraction using an external clampson ultrasonic transducer," *Ultrasonics - Sonochemistry*, vol. 51, pp. 496-503, 2019.
- [20] K. S. Eldiehy, P. Bardhan, D. Borah, M. Gohain, M. Ahmad Rather, D. Deka and M. Mandal, "A comprehensive review on microalgal biomass production and processing for biodiesel production," *Fuel*, vol. 324, p. 124773, 2022.
- [21] A. L. Ido, M. D. G. De Luna, S. C. Capareda, A. L. Maglinao and H. Nam, "Application of central composite design in the optimization of lipid yield from *Scenedesmus obliquus* microalgae by ultrasound-assisted solvent extraction," *Energy*, vol. 157, pp. 949-956, 2018.
- [22] Y.-A. Ma, Y.-M. Cheng, J.-W. Huang, J.-F. Jen, Y.-S. Huang and C.-C. Yu, "Effects of ultrasonic and microwave pretreatments on lipid extraction of microalgae," *Bioprocess and Biosystems Engineering*, vol. 37, p. 1543-1549, 2014.
- [23] A. M. Escorsim, G. da Rocha, J. V. Vargas, A. B. Mariano, L. P. Ramos, M. L. Corazza and C. S. Cordeiro, "Extraction of *Acutodesmus obliquus* lipids using a mixture of ethanol and hexane as solvent," *Biomass and Bioenergy*, vol. 108, pp. 470-478, 2018.
- [24] R. R. dos Santos, D. M. Moreira, C. N. Kunigami, D. A. G. Aranda and C. M. L. L. Teixeira, "Comparison between several methods of total lipid extraction from *Chlorella vulgaris* biomass," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 22, pp. 95-99, 2015.

Nanotubos de carbono a partir de polietilentereftalato: una alternativa de reciclaje post pandemia

Trujillo Torres Amalia Elizabeth¹, López Rodríguez Angélica Silvestre², Sifuentes Gallardo Pío³, Díaz Flores Laura Lorena⁴, Yolanda Córdova Bautista⁵

¹División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
amaliatrujillotorres@outlook.com

²División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
angelica.lopez@ujat.mx

³División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
pio.sifuentes@ujat.mx

⁴División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
laura.diaz@ujat.mx

⁵División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
yolanda.cordova@ujat.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) reporta que a partir del 2020 el uso de plásticos incrementó significativamente en consecuencia de la pandemia de COVID-19 que aún impera hoy en día, debido a que el uso de mascarillas, batas, jeringas y envases de comida aumentaron en todo el mundo. Tomando en cuenta que esta problemática plantea un obstáculo para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se llevó a cabo el presente trabajo, que consistió en realizar una síntesis de nanotubos de carbono (NTC) por el método de deposición química en fase vapor (CVD por sus siglas en inglés), utilizando polietilentereftalato (PET) post consumo como fuente de carbono y óxido de cobalto como precursor catalítico. Las nanopartículas del catalizador se obtuvieron por mecanosíntesis, mientras que los NTC por el método de deposición química en fase vapor. De la síntesis mecánica se obtuvieron partículas esféricas y nanométricas de 8.6 nm usadas para la producción de los NTC de pared múltiple de aproximadamente 20 nm de espesor. De manera que el resultado final fueron NTC reciclados que se pueden describir como un material con múltiples aplicaciones como conductores y nanosensores y con un valor agregado ambiental adicional.

Palabras clave: PET, nanotubos de carbono, reciclaje

Abstract

The United Nations Organization (UN) reports that as of 2020 the use of plastics increased significantly as a result of the COVID-19 pandemic that still prevails today, due to the fact that the use of masks, gowns, syringes and containers of food increased worldwide. Taking into account that this problem poses an obstacle to the fulfillment of the Sustainable Development Goals (SDG), the present work was carried out, which consisted of performing a synthesis of carbon nanotubes (CNT) by the method of chemical deposition in phase (CVD), using post-consumer polyethylene terephthalate (PET) as a carbon source and cobalt oxide as a catalyst precursor. The catalyst nanoparticles were obtained by mechanosynthesis, while the CNT by the chemical vapor deposition method. From the mechanical synthesis, spherical and nanometric particles of 8.6 nm will be obtained, used for the production of multi-walled CNTs of approximately 20 nm thickness. So the final result was recycled CNTs that can be described as a material with multiple applications such as conductors and nanosensors and with additional added environmental value.

Key words: PET, carbon nanotubes, recycling

Introducción

Cada año se producen en todo el mundo 300 millones de toneladas de residuos plásticos que impactan directamente en la preservación del medio ambiente y únicamente el 14 % es reciclado [1]. En México, que es considerado uno de los países en América Latina con mayor producción de residuos sólidos urbanos (RSU), la generación total se estima en 120,128 ton/día. De ese total, el 31.36 % corresponde a RSU susceptibles de aprovechamiento, donde el polietilentereftalato (PET) abarca el 2.63 % [2]. Estas cifras destacan una problemática importante en cuanto al control y manejo de cantidades tan grandes de desechos, por lo que investigadores ambientales han propuesto su utilización para producir nanomateriales de carbono, por ejemplo, en el 2011 se propuso utilizar PET como refuerzo de TiO_2 /arcilla para aplicaciones de pavimento [3], un año después, se presentó una revisión de la síntesis de nanotubos de carbono (NTC) a partir de polietileno [4] y en 2017 se lograron sintetizar NTC de pared múltiple a partir de residuos plásticos, pero utilizando un reactor de deposición química en fase vapor (CVD por sus siglas en inglés) de acero inoxidable como catalizador [5]. En la actualidad se experimenta con nanomateriales más elaborados como opciones de reciclaje, como el nanocompuesto de ZnO obtenido a partir de residuos de PET que se desarrolló en el 2020 [6].

Desde principios del 2020 con el COVID-19, la problemática de residuos plásticos se incrementó exponencialmente por la producción y utilización de millones de desechos médicos como las mascarillas KN95, jeringas y las batas quirúrgicas que están hechas de polipropileno y PET, así como de los envases de comida, bebidas y medicamentos [7, 8]. Esto repercutió directamente en la economía mundial y por ende en la sociedad, ya que, al no reciclarse se pierden entre 80 y 120 mil millones de dólares [9], a pesar de que casi todos los plásticos de embalaje son mecánicamente reciclables con poco deterioro en su calidad [10].

Por otro lado, los NTC son materiales muy importantes por sus propiedades electrónicas, térmicas y mecánicas, que los clasifican en el rango de metálicos o semiconductores [11] y que los llevan a ser utilizados en múltiples aplicaciones en diversas disciplinas como farmacéutica, comunicaciones y remediación ambiental por mencionar solo algunas, donde son utilizados como membranas mesoporosas, conductores y/o nanosensores [12]. Debido a esto, se han estudiado los diferentes métodos de síntesis y los efectos en sus propiedades, así como su producción a partir de diferentes plásticos y se puede concluir que la morfología se encuentra intrínsecamente relacionada con la temperatura, el precursor y la síntesis del mismo [13-15]. Sin embargo, aún existen diferentes problemas que se relacionan con la preparación de NTC, debido a que necesita proponer un desarrollo para que el proceso sea factible y rentable para producir grandes cantidades.

El objetivo de este trabajo consistió en estudiar las propiedades estructurales y morfológicas de NTC sintetizados a partir de residuos de PET, como una alternativa de reciclaje post pandemia, de manera que se obtuviera un material con una variedad importante de aplicaciones y con un valor agregado ambiental (VAA). Como precursor catalítico se seleccionó óxido de cobalto, el cual se calentó a 800°C durante 1h para obtener los NTC. Posteriormente se realizó un proceso de purificación oxidativa y ácida. Los materiales fueron caracterizados por las técnicas de microscopía electrónica de barrido (SEM), microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM) y difracción de rayos X. Los resultados indicaron la obtención de NTC de pared múltiple de aproximadamente 20 nm de espesor.

Metodología

La metodología general constó de tres pasos: recolección de la fuente de carbono (PET), obtención del precursor catalítico (óxido de cobalto) y la síntesis de los NTC de pared múltiple por CVD.

El PET recolectado corresponde a botellas de agua con el código de reciclado. Estos envases, libres de etiquetas, tapas o de otro tipo de polímeros, se cortaron en pequeños pellets de 0.50 cm x 0.5 cm como se muestra en la Figura 1. Una vez cortados se lavaron con agua destilada y acetona y se secaron en aire a 80 °C en parrilla eléctrica hasta que el agua se evaporó.



Figura 1. Pellets de PET.

A partir de una relación molar 2:5 de bicarbonato de amonio (NH_4HCO_3) y nitrato de cobalto hexahidratado ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) se mezclaron las materias primas en un mortero de ágata y se molieron hasta que se obtuvo una mezcla homogénea y posteriormente se llevó a tratamiento térmico de $300\text{ }^\circ\text{C}$ durante 2 horas en una mufla modelo AR-340 de la marca Arsa con control analógico, indicador digital de temperatura y rango de temperatura hasta $1,100\text{ }^\circ\text{C}$. Se obtuvo como resultado un polvo negro que corresponde a nanopartículas de óxido de cobalto (Co_3O_4) que se utilizaron como catalizador.

Para la síntesis de PET se utilizaron 12 g de los pellets de PET y 0.2 g de Co_3O_4 . Como pretratamiento las nanopartículas de Co_3O_4 se sometieron a baño ultrasónico durante 60 minutos y se depositaron por goteo en un sustrato de vidrio, para ello se utilizó un equipo Civeq 8892 con 40 KHz de frecuencia y 200 W de potencia. Posteriormente la fuente de carbono y el sustrato con el catalizador se colocaron dentro del reactor CVD que consta de un tubo de cuarzo dentro de dos hornos de acero inoxidable y un controlador de temperatura para cada horno tal como muestra la Figura 2. La fuente de carbono se llevó a $600\text{ }^\circ\text{C}$ en el horno uno, mientras que la reacción de síntesis fue de $800\text{ }^\circ\text{C}$ en el horno dos. Se purgó con nitrógeno durante 15 minutos y posteriormente se circuló hidrógeno durante toda la reacción.

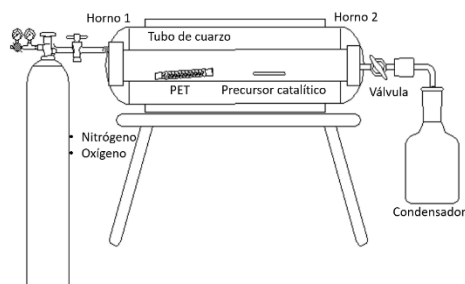


Figura 2. Esquema del reactor CVD utilizado para la síntesis de NTC.

Obtenidos los NTC, estos fueron sometidos a purificación. Se sometieron primero a una oxidación selectiva con aire para purificarlos de carbono amorfo en el mismo reactor CVD, circulando aire en lugar de hidrógeno a $520\text{ }^\circ\text{C}$ durante 30 minutos con un flujo de 0.10 ml/min . Para esto se utilizó una bomba de aire de la marca Sunny. Posteriormente los NTC se sometieron a baño ultrasónico en 100 ml de HCl durante un minuto y seguidamente se dejó en reposo por 24 horas, una vez pasado el tiempo los NTC se lavaron con agua destilada y etanol de manera alternada y midiendo el pH hasta que mostró un pH neutro, indicando así, la eliminación de residuo de HCl, finalmente se secaron depositando por goteo sobre un vidrio de reloj en una parrilla eléctrica a $80\text{ }^\circ\text{C}$.

Tanto las nanopartículas de óxido de cobalto como los NTC fueron caracterizados morfológicamente por microscopía electrónica de barrido (SEM por sus siglas en inglés) con un microscopio JEOL JSM-6010LA con una velocidad de voltaje de 20.00 kV , con este mismo equipo con apoyo de un escáner, se realizó una espectroscopía de energía dispersiva (EDX) para conocer la eficacia de la purificación. La caracterización estructural se realizó mediante Microscopía Electrónica de Transmisión de Alta Resolución (HRTEM por sus siglas en inglés) en un microscopio JEM-2100 también marca JEOL a 200 kV en el Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología Aplicada de Tabasco, UJAT-DAIA (Proyecto 225962, CONACYT_INFRA 2014). Para conocer el

tamaño de cristalito y confirmar el material obtenido correspondía a Co_3O_4 se utilizó difracción de rayos x (DRX). Utilizando un difractor de la marca Bruker modelo D8 Advanced Eco X-Ray

Resultados y discusión

En la Figura 3 se observa una micrografía electrónica de barrido de las nanopartículas de óxido de cobalto que presentan una morfología esférica y un tamaño aparente de casi 100 nm, sin embargo, esto se asocia a que se encuentran aglomeradas y la resolución del equipo, por lo que se analizó por medio de HRTEM con el objetivo de tener una mejor resolución. En cuanto al rendimiento, se alcanzó un 80%.

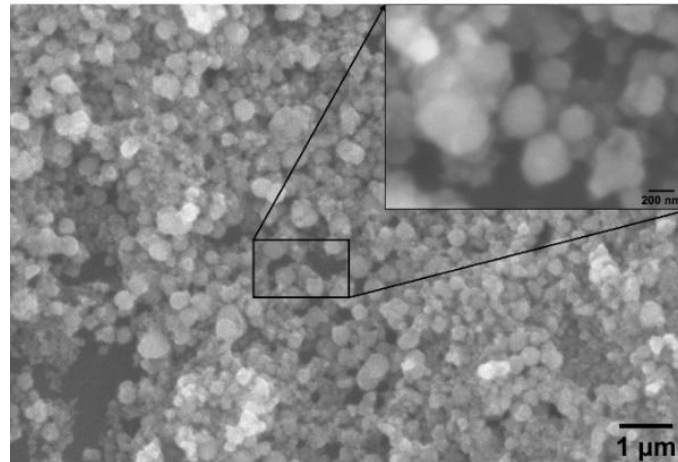


Figura 3. Micrografía electrónica de barrido (SEM) de las nanopartículas de óxido de cobalto (Co_3O_4).

En la Figura 4 se muestran las micrografías por HRTEM y es posible confirmar la morfología de las nanopartículas, además de que se permite conocer un tamaño real que corresponde a 10 nm aproximadamente, lo que indica que en las micrografías de SEM las aglomeraciones afectan la percepción de su tamaño. En esta micrografía, se identifican partículas homogéneamente monodispersas y semiesféricas. Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado en la literatura utilizando este método [16] y de acuerdo con lo discutido por Mukherjee y colaboradores en 2019, se esperaba obtener con estos tamaños de nanopartículas, NTC del mismo rango [13].

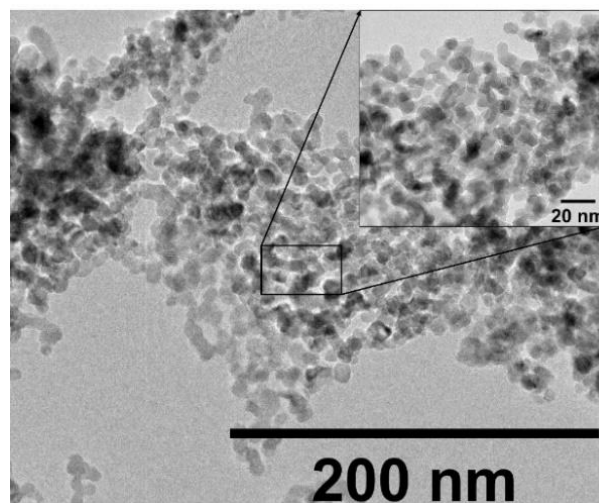


Figura 4. Micrografía electrónica de transmisión de las nanopartículas de óxido de cobalto (Co_3O_4).

Con el objetivo de definir un tamaño de nanopartículas más cuantitativo que cualitativo se realizó una distribución por medio del modelo gaussiano después de realizar un conteo de las mismas en el software *Image J*. De lo anterior se obtuvo un tamaño de 8.63 nm como se observa en la Figura 5.

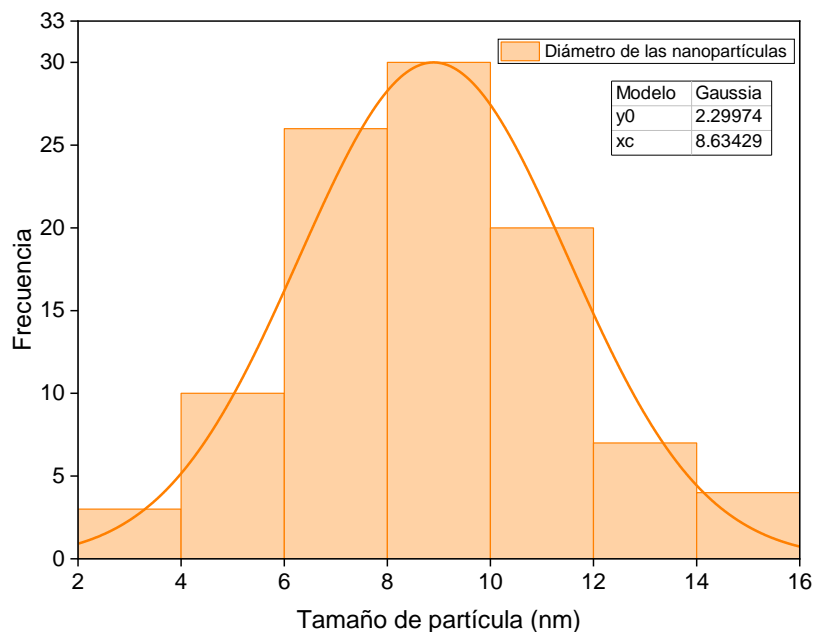


Figura 5. Distribución del tamaño de las nanopartículas de óxido de cobalto

Se realizó la Difracción de Rayos X en Polvos (DRX-P) para confirmar que el material obtenido correspondía a los espectros Co_3O_4 (Figura 6) y conocer el tamaño del cristalito, que mediante la ecuación de Scherrer fue posible concluir en 13 nm, lo que coincide con lo reportado por Yang y colaboradores en el 2003.

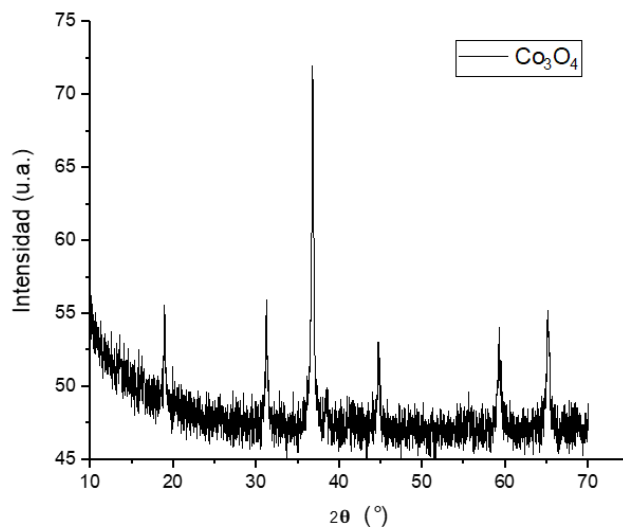


Figura 6. Difractograma de Co_3O_4 .

Para conocer la eficacia de la purificación aplicada a los NTC, éstos se caracterizaron en tres estados diferentes: sin purificar, purificados por oxidación selectiva y por reacción ácida con HCl, tal como se muestra en la Figura 7a, 7b y 7c, respectivamente. Se puede observar que la purificación por oxidación selectiva utilizando aire funciona eliminando el carbón amorfo, pero no el material metálico; sin embargo, al utilizar HCl, es posible disolver los restos de cobalto, pero no el carbón amorfo, lo que hace complicado identificar los NTC, incluso los de mayor tamaño, por medio de SEM derivado de las limitaciones propias del equipo de medición.

Estos resultados, confirman lo concluido por Datsuk y colaboradores en 2008 [17], de que los tratamientos no ácidos facilitan la eliminación completa del carbono desordenado de las muestras NTC de pared múltiple y que no sufren cambios estructurales en reacción ácida. Por lo anterior, se seleccionó como medio de purificación una combinación de oxidación selectiva por aire y reacción ácida por HCl, ya que como Martínez Huitle en el 2011 reportó [18], resulta un método que elimina carbono amorfo y material metálico, de bajo costo, toxicidad y adhesión de impurezas y que además genera pocos daños estructurales en los NTC.

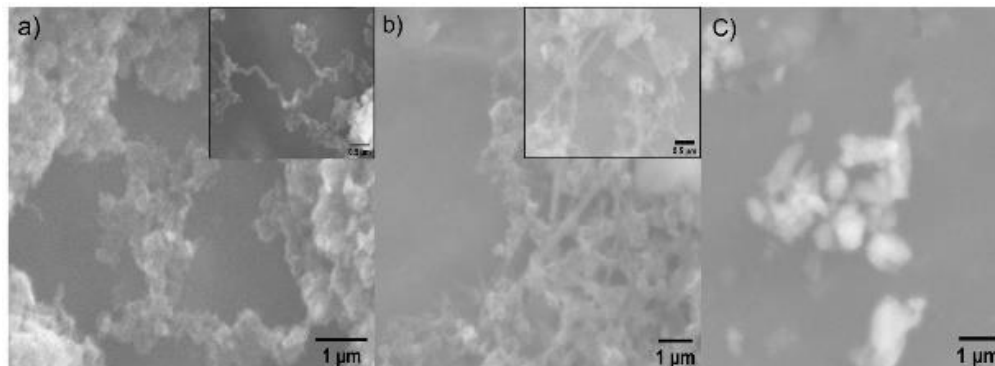


Figura 7. Micrografías SEM de nanotubos sin purificar (a), purificados por oxidación selectiva en aire (b) y purificados con HCl.

En la Figura 8, se puede observar una micrografía electrónica de transmisión de NTC purificados de manera combinada con un rendimiento del 48 %. Es posible apreciar que éstos son de pared múltiple, de cerca de 20 nm de diámetro, con grosor de 5 nm de pared y espacio entre paredes de aproximadamente 0.2 nm, sin embargo, se identifican deformaciones y defectos en las paredes de los NTC, lo que sugieren que es necesario modificar las condiciones del método de síntesis o de purificación o caracterizar sus propiedades, para conocer las aplicaciones de estas deformaciones.

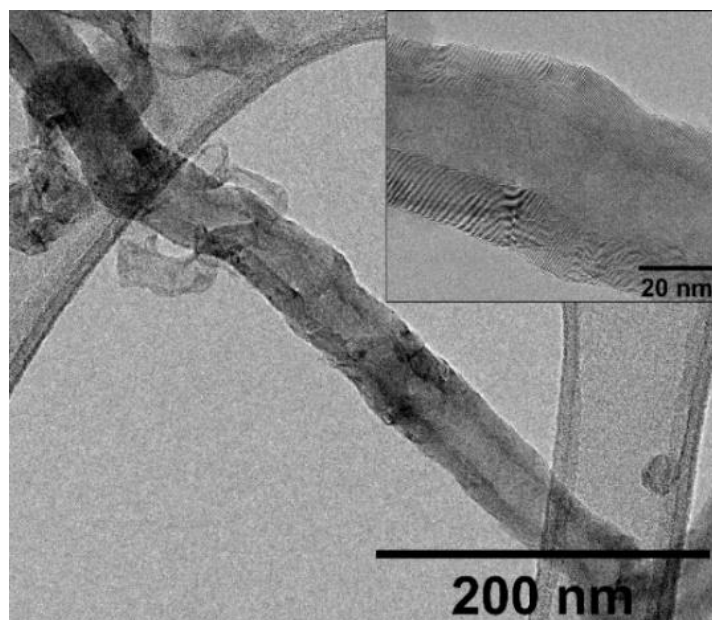


Figura 8. Micrografía electrónica de transmisión de nanotubos de carbono de pared múltiple purificados de manera combinada.

Por medio de espectroscopía de energía dispersiva (EDX) se realizó el análisis elemental correspondiente al óxido de cobalto y los NTC. La tabla 1 muestra el porcentaje de elementos encontrados en las nanopartículas de

óxido de cobalto, correspondiente a lo deseado de manera que se utilice como sustrato de crecimiento de los NTC, ya que, durante la reacción de síntesis, éste se reduce obteniendo únicamente cobalto.

Tabla 1. Porcentaje elemental del óxido de cobalto.

Elemento	Fórmula química	%ms
Oxígeno	O	24.42
Cobalto	Co	75.58

En la Figura 9a el espectro de energía dispersiva permite apreciar la presencia de cobalto en el análisis elemental, mientras que en la Figura 9b no lo hace, lo que se atribuye a que la purificación combinada cumple la función de eliminar los restos de metales mediante la utilización de HCl, también se observa una disminución en el contenido de carbono ya que por medio de la purificación selectiva se eliminan restos de carbono amorfo adherido a los NTC.

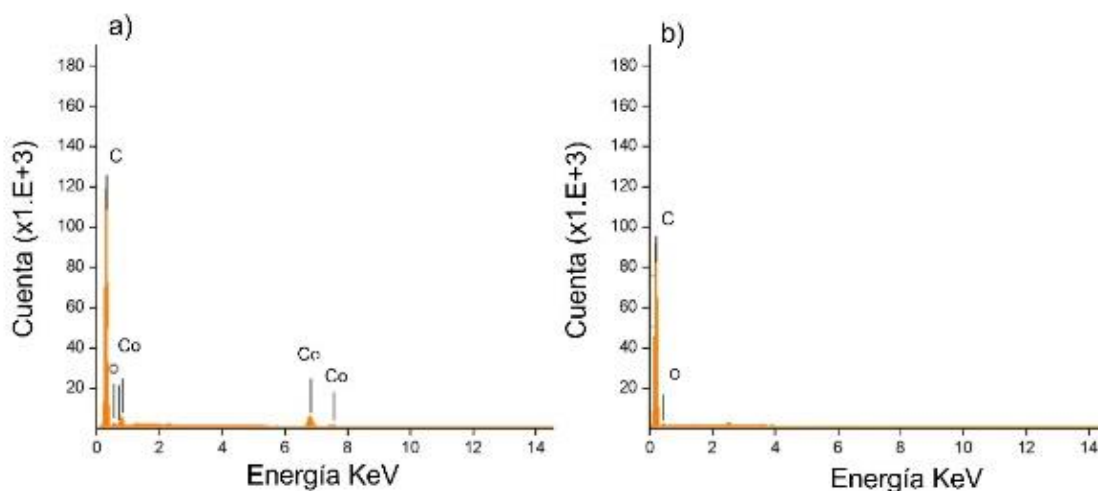


Figura 9. Espectro de energía dispersiva del análisis elemental de los nanotubos de carbono sin purificar (a) y purificados por oxidación combinada (b).

Derivado de los resultados obtenidos, es factible decir que a partir de nanopartículas de óxido de cobalto como precursor catalítico y PET post consumo como fuente de carbono, se puede obtener NTC de pared múltiple con morfología nanométrica del rango de 10 a 20 nm, después de una purificación combinada con un rendimiento de 48 %, con posibles aplicaciones en diferentes industrias, después de su correcta caracterización puntual en sus propiedades, ya que los NTC presentan defectos topológicos inevitables producidos durante su síntesis y tratamientos posteriores.

Es importante mencionar, que a diferencia de otras propuestas de síntesis de NTC a partir de plásticos post consumo, esta se propone como una alternativa a la presente crisis de generación de residuos causada por la actual pandemia de COVID-19, de manera que, lo que se aporta es un proceso completo de síntesis de NTC para que aquellos interesados en utilizar NTC en sus procesos, opten por utilizar materiales reciclados y sustentables hechos en laboratorio con un proceso simple y económico como el que aquí se expone y se propone continuar con los estudios de esta la línea de investigación, para mejorar su calidad y conocer sus diferentes propiedades y aplicaciones.

Trabajo a futuro

Como trabajos a futuro se propone caracterizar las propiedades, térmicas, eléctricas y mecánicas de los NTC, con el fin de conocer posibles aplicaciones para NTC obtenidos a partir de PET reciclado mediante CVD con cobalto como catalizador y para poder conocer el efecto de los defectos en los resultados de dichas caracterizaciones. Incluso es posible analizar si los NTC sin purificar, tiene variaciones en sus propiedades respecto a un dopaje con Co, por ejemplo.

De igual manera realizar pruebas experimentales variando las condiciones de síntesis y purificación para mejorar la calidad de los NTC disminuyendo los defectos observados en su morfología y que afectan sus propiedades.

Conclusiones

Se sintetizaron nanopartículas de óxido de cobalto ideales para el crecimiento de NTC de 10-20 nm con morfología esférica. Posteriormente se obtuvieron NTC de pared múltiple de aproximadamente 20 nm, utilizando dichas nanopartículas como precursor catalítico y PET cortado en pellets como fuente de carbono, mediante la técnica CVD, de forma que se logró darle a un material con múltiples aplicaciones un valor agregado ambiental, mientras se propone una alternativa de reciclaje al aumento de residuos de PET post pandemia COVID-19, siendo esta la principal aportación.

Sin embargo, pudo observarse que la morfología de los NTC obtenidos de esta manera, presentan defectos en sus paredes y su estructura y que la purificación seleccionada cumple con el objetivo de eliminar el material metálico, pero resulta agresiva eliminando también por completo NTC o contribuyendo a sus defectos morfológicos superficiales.

Por lo anterior, se propone continuar con esta línea de investigación, realizando variaciones en la temperatura de síntesis de los NTC y el método de purificación, en virtud de mejorar la calidad de los mismo disminuyendo las deformaciones. De igual manera realizar caracterizaciones térmicas, mecánicas y eléctricas.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó con financiamiento del Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) por lo que se expresa el completo agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a dicha Universidad por hacer posible esta investigación. De igual manera a los integrantes del Laboratorio de Microscopía electrónica Avanzada del Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología Aplicada de Tabasco, UJAT-DAIA (Proyecto 225962, CONACYT_INFRA 2014) por los trabajos de medición en HRTEM. Así mismo, a los técnicos responsables de las mediciones de SEM y DRX.

Referencias

- [1] Programa para el medio ambiente de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2019, junio 02) [Online]. Available: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/reciclaje-de-plastico-el-sector-esta-listo-para-un-nuevo-impulso>. [Accessed: 09- Jul- 2021].
- [2] Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, "Diagnóstico básicos para la gestión integral de residuos", Lucart Estudio S.A. de C.V, Ciudad de México, 2020.
- [3] A. S. L. Rodriguez, P. S. Gallardo, C. S. Castañón, L. L. D. Flores, M. A. H. Rivera, and R. F. Calderon, "Crosslinking and reinforcement of PET/TiO₂/clay composites for pavement applications," *Adv. Mater. Res.*, vol. 168–170, pp. 2340–2343, 2011, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.168-170.2340.
- [4] A. Bazargan and G. McKay, "A review - Synthesis of carbon nanotubes from plastic wastes," *Chem. Eng. J.*, vol. 195–196, pp. 377–391, 2012, doi: 10.1016/j.cej.2012.03.077.
- [5] P. K. Tripathi, S. Durbach, and N. J. Coville, "Synthesis of Multi-Walled carbon nanotubes from plastic waste using a Stainless-Steel CVD reactor as catalyst," *Nanomaterials*, vol. 7, no. 10, 2017, doi: 10.3390/nano7100284.
- [6] M. Ubaidullah, A. M. Al-Enizi, S. Shaikh, M. A. Ghanem, and R. S. Mane, "Waste PET plastic derived ZnO@NMC nanocomposite via MOF-5 construction for hydrogen and oxygen evolution reactions," *J. King Saud Univ. - Sci.*, vol. 32, no. 4, pp. 2397–2405, 2020, doi: 10.1016/j.jksus.2020.03.025.

- [7] F. Fusstetter, Programa para el medio ambiente de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2021, marzo 30). [Online]. Disponible: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/reciclaje-de-plastico-el-sector-esta-listo-para-un-nuevo-impulso>. [Accessed: 07- abril- 2021].
- [8] J. C. Prata, A. L. P. Silva, T. R. Walker, A. C. Duarte, and T. Rocha-Santos, "COVID-19 Pandemic Repercussions on the Use and Management of Plastics," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 54, no. 13, pp. 7760–7765, 2020, doi: 10.1021/acs.est.0c02178.
- [9] World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company, *The New Plastics Economy — Rethinking the future of plastics* (2016, <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>).
- [10] Plastics Europe. In principle all types of (thermo-) plastics can be mechanically recycled with little or no quality impairment. Plastics Europe website, <http://www.plasticseurope.org/>
- [11] J. Deng, Y. You, V. Sahajwalla, and R. K. Joshi, "Transforming waste into carbon-based nanomaterials," *Carbon N. Y.*, vol. 96, pp. 105–115, 2016, doi: 10.1016/j.carbon.2015.09.033.
- [12] R. Shoukat and M. I. Khan, "Carbon nanotubes: a review on properties, synthesis methods and applications in micro and nanotechnology," *Microsyst. Technol.*, vol. 27, no. 12, pp. 4183–4192, 2021, doi: 10.1007/s00542-021-05211-6.
- [13] A. Mukherjee, B. Debnath, and S. K. Ghosh, "Carbon Nanotubes as a Resourceful Product Derived from Waste Plastic—A Review," *Waste Management and Resource Efficiency*. Springer Singapore, 2019, 915–934. doi:10.1007/978-981-10-7290-1_77
- [14] S. A. Wolfson, "Polymer recycling," *Polym. Sci. - Ser. C*, vol. 42, no. 1, pp. 42–54, 2000, doi: 10.1007/978-94-011-0623-8_13.
- [15] B. Sharma, S. Shekhar, S. Sharma, and P. Jain, "The paradigm in conversion of plastic waste into value added materials," *Clean. Eng. Technol.*, vol. 4, p. 100254, 2021, doi: 10.1016/j.clet.2021.100254.
- [17] H. Yang, Y. Hu, X. Zhang, and G. Qiu, "Mechanochemical synthesis of cobalt oxide nanoparticles," *Mater. Lett.*, vol. 58, no. 3–4, pp. 387–389, 2004, doi: 10.1016/S0167-577X(03)00507-X.
- [17] V. Datsyuk y et al. Chemical oxidation of multiwalled carbon nanotubes. *Carbon*. Vol. 46, Pag. 833–840. 2008, doi:10.1016/j.carbon.2008.02.012.
- [18] U. A. Martínez Huitle; *Fabricación y Purificación de Nanotubos de Carbono para el Desarrollo y Caracterización de Conductores Eléctricos Transparentes*; Tesis. Instituto Politécnico Nacional; 2011.

Fotodegradación de ácido salicílico con heteroestructuras de $\text{MoS}_2/\text{g-C}_3\text{N}_4$ bajo irradiación de luz solar simulada

D.B. Hernandez-Uresti¹, S.A. Obregón-Alfaro¹, F.V. Flores-Baez¹

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, CICEFIM – Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Av. Universidad S/N, Cd. Universitaria, 66455, San Nicolás de los Garza, NL, México.

Correo: diana.hernandezrt@uanl.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

El desarrollo de fotocatalizadores eficientes para la degradación de antibióticos se ha vuelto cada vez más importante en la remediación ambiental. Las heteroestructuras de $\text{MoS}_2/\text{gC}_3\text{N}_4$ (MS/CN) se han sintetizado mediante un método sonoquímica. Los fotocatalizadores MS/CN han sido investigados por los métodos DRX, SEM, DRS y BET. El ácido salicílico fue degradado por la heteroestructura MS/CN bajo la luz visible. Los resultados mostraron que el 1% MS/CN obedece al modelo cinético de orden cero. La eficiencia de separación de carga contribuye a mejorar la actividad fotocatalítica de la heteroestructura. Además, se ha propuesto un posible mecanismo de reacción para 1% MS/CN y la especie oxidante que juega el papel principal en la fotoactividad son los huecos determinados por experimentos con agentes secuestrantes de especies. El 1% MS/CN exhibió una degradación eficaz de los antibióticos en el agua, por lo cual lo hace un excelente candidato para la remediación de agua.

Palabras clave: $\text{MoS}_2/\text{gC}_3\text{N}_4$, ácido salicílico, fotocatalisis heterogénea

Abstract

The development of efficient photocatalysts for the antibiotics degradation has become increasingly important in environmental remediation. $\text{MoS}_2/\text{gC}_3\text{N}_4$ (MS/CN) heterostructures have been synthesized by a sonochemical method. MS/CN photocatalysts have been investigated by DRX, SEM, DRS and BET method. Salicylic acid was degraded by the MS/CN heterostructure under the visible light. The results showed that 1% MS/CN obey the pseudo-zero-order kinetic model. The charge separation efficiency contribute to the enhanced the photocatalytic activity of the heterostructure. In addition, a possible reaction mechanism for 1% MS/CN has been proposed and the oxidizing species that plays the main role in photoactivity were the holes determined by experiments with oxidizing scavenger agents. 1% MS/CN exhibited efficient antibiotic degradation in water, thus making it an excellent candidate for water remediation.

Key words: $\text{MoS}_2/\text{gC}_3\text{N}_4$, salicylic acid, photocatalysis

Introducción

Ha habido una creciente demanda de nuevas tecnologías ambientales en la remediación debido a la mayor conciencia y preocupación por la contaminación ambiental [1]. En particular, una gran cantidad de antibióticos contamina cada vez más lagos, ríos y mares, causando varios efectos adversos en ecosistema y grandes amenazas para la salud humana. Los antibióticos se consideran como un tipo de microcontaminantes orgánicos complejos, que han planteado preocupaciones ambientales emergentes con respecto a la contaminación del agua. Se sabe que la contaminación del agua por antibióticos es un problema importante para la salud humana.

En los últimos años, se han empleado diversas tecnologías para reducir la emisión de antibióticos en la protección del medio ambiente; estos incluyen la adsorción física, la degradación microbiana y la degradación fotocatalítica. Entre estos, la fotocatalisis basada en semiconductores se considera una solución eficaz para la contaminación por antibióticos en el agua debido a su respeto por el medio ambiente, bajo consumo de energía y bajo costo [2].

Sin embargo, en comparación con contaminantes como los colorantes, es relativamente difícil fotodegradar los antibióticos. Debido a que los compuestos farmacéuticos están diseñados específicamente para soportar la degradación biológica y, por lo tanto, pueden mantener su estructura química durante el tiempo suficiente para existir en el cuerpo humano y ser liberados en gran medida en su estado original en el medio ambiente natural. Por lo tanto, existe una gran necesidad de desarrollar nuevos fotocatalizadores efectivos con mayor eficiencia de degradación de antibióticos.

El disulfuro de molibdeno (MoS_2) es un catalizador de calcogenuro de metal de transición con una estructura similar a una estructura en capas bidimensional (2D) de un análogo de grafeno que ha llamado mucho la atención en la catálisis de la degradación de antibióticos. Además, MoS_2 tiene una estructura de banda prohibida, que varía de una banda prohibida indirecta de 1.8 eV (para MoS_2 monocapa). Sin embargo, las limitaciones de su estrecha banda prohibida y su área superficial impiden la actividad fotocatalítica de MoS_2 . Por lo tanto, MoS_2 se ha construido en diferentes morfologías para mejorar su rendimiento catalítico, incluidas láminas, nanopartículas y puntos cuánticos.

El nitruro de carbono grafítico (gC_3N_4), es un semiconductor orgánico que tiene una gran cantidad de ventajas como características ópticas adecuadas, excelente estabilidad térmica y banda prohibida adecuada, lo que lo hace particularmente adecuado para aplicaciones, en síntesis, desinfección bacteriana, conversión de energía y eliminación de contaminantes orgánicos. Sin embargo, debido a la absorción de luz insuficiente y área de superficie baja, la actividad fotocatalítica del gC_3N_4 puede mejorarse aún más. Por eso, diferentes estrategias como modificación morfológica, combinación con otros semiconductores y construcción de defectos de vacancias se han propuesto para disminuir estos inconvenientes [3]. Debido a lo anteriormente mencionado, en este proyecto utilizamos un método simple de sonoquímica para obtener heteroestructuras de $\text{MoS}_2/\text{gC}_3\text{N}_4$ como fotocatalizador para la degradación de ácido salicílico bajo irradiación solar simulada.

Metodología

Materiales

Sulfuro de molibdeno (MoS_2 , 98%) y la cianamida (NCNH_2 , 50% de agua) se compraron a Sigma-Aldrich y se usaron tal como se recibieron sin más purificación.

Preparación de $\text{g-C}_3\text{N}_4$

La preparación del semiconductor $\text{g-C}_3\text{N}_4$ se preparó mediante condensación térmica utilizando melamina como precursor. Normalmente, se puso cianamida en un crisol tapado para evitar la sublimación del precursor. Luego, el crisol se transfirió a un horno para realizar un tratamiento térmico de 500 °C y se mantuvo durante 4 h [4]. El material obtenido se denominó CN.

Preparación de las heteroestructuras de $\text{MoS}_2/\text{g-C}_3\text{N}_4$

El procedimiento para la preparación de las heteroestructuras de $\text{MoS}_2/\text{g-C}_3\text{N}_4$ (MS/CN): se añadió 1 g de $\text{g-C}_3\text{N}_4$ (CN) en una solución de 80mL de agua destilada y etanol. Posteriormente, se agregó una cantidad adecuada de MoS_2 en la dispersión de CN a un porcentaje en peso de 0.5, 1.0, 3.0 y 5.0%. Enseguida, la dispersión resultante se mantuvo en agitación durante 15 minutos y después estuvo en un ultrasonido durante 30 minutos. Finalmente, se seco a 80 °C durante 12 h en un horno para su posteriormente enfriarse a temperatura ambiente.

Caracterización de las heteroestructuras

La caracterización estructural se realizó por difracción de rayos X en polvo utilizando un difractómetro (Bruker D8, Alemania) con filtro de Niquel. La radiación $\text{CuK}\alpha$ con una longitud de onda de 0.15406 nm se utilizó como fuente de rayos X y la difracción de los datos se registraron entre 10° y 70° (2θ) con una velocidad de exploración de 0.05° s^{-1} . Además, determinamos el tamaño de cristal (D) y deformación o distorsión de la red (ϵ) determinados por el pico más intenso en el espectro de difracción de rayos X [5]:

$$D = K\lambda / \beta \cos\theta \quad (1)$$

$$\varepsilon = \beta / 4 \tan\theta \quad (2)$$

donde D es el tamaño del cristal por radiación de DRX de longitud de onda λ (nm) a partir de la medición del ancho completo a la mitad del máximo de los picos (β) en radianes ubicados en cualquier 2θ en el patrón. El factor de forma de K puede ser de 0.62 a 2.08 y normalmente se toma como 0.89. La espectroscopia de reflectancia difusa (DRS) se realizó utilizando un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo-Fisher Scientific Evolution 220, Estados Unidos) equipado con una esfera integradora. La banda de energía prohibida se calculó mediante intersección de las dos líneas tangentes involucradas en la curva de absorción [6], utilizando la ecuación de Planck:

$$E_g = hc / \lambda \quad (3)$$

Donde c es la velocidad de la luz (2.998×10^{17} nm. s^{-1}), h es la constante de Planck (6.626×10^{-34} J. s) y λ es la longitud de onda de la heteroestructura. El área de superficie (BET) se determinó mediante mediciones de adsorción-desorción de nitrógeno utilizando un analizador (Bel-Japan Minisorp II, Japón). La muestra se evaluó a -196 °C después de un pretratamiento a 150 °C durante 6 h. La morfología de las heteroestructuras MS/CN se observaron mediante microscopía electrónica de barrido de emisión de campo utilizando un microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM 6701F, Estados Unidos). El polvo era dispersado ultrasónicamente en etanol absoluto y dejado caer sobre una rejilla de cobre.

Evaluación fotocatalítica de las heteroestructuras

El reactor fotoquímico empleado consistió en un vaso de precipitados de vidrio de borosilicato rodeado de una camisa de agua fría para mantener la temperatura de reacción a 25 ± 1 °C. Se utilizó una lámpara de xenón de 35 W como fuente de radiación UV-Vis [7]. Se evaluó el comportamiento de las heteroestructuras MS/CN en la degradación de ácido salicílico en solución acuosa con una concentración inicial establecida en 25 mg.L^{-1} . La estructura molecular del compuesto farmacéutico se representa en la Figura 1.

En la prueba fotocatalítica, se mezclaron 200 mL de la solución acuosa que contenía el contaminante con 200 mg del polvo de gC_3N_4 y la mezcla se colocó en un baño ultrasónico durante 1 min para eliminar los agregados. Luego, se dejó en condiciones de oscuridad durante 60 min para lograr el equilibrio de adsorción-desorción del contaminante en la superficie del fotocatalizador. Después de este período de tiempo, se encendió la lámpara Xe. Durante la reacción, se tomaron alícuotas de 5 mL a intervalos de tiempo determinados y luego se separaron mediante centrifugación (4000 rpm, 5 minutos). Se siguió la concentración de cada contaminante a través de la evolución de su banda de absorción característica a 296 nm para ácido salicílico [8].

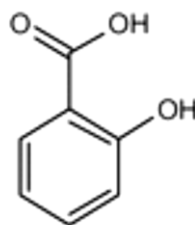


Figura 1. Estructura molecular del ácido salicílico

Resultados y discusión

Caracterización de las heteroestructuras

La caracterización estructural de las heteroestructuras MS/CN se llevaron a cabo mediante difracción de rayos X en polvo. La Figura 2a muestra el patrón obtenido de las muestras, donde g-C₃N₄ se observaron dos picos de difracción principales a 13,1° y 27,5° (2θ) correspondientes a la tris-s-triazina condensada y al apilamiento del sistema aromático conjugado del fotocatalizador, respectivamente [9]. Esta configuración atómica proporciona interesantes propiedades físicas al material, como una alta estabilidad térmica y química.

Para la muestra de MoS₂, el patrón muestra picos en 2θ = 14.3°, 32.8°, 39.5°, 44°,49° y 58.6°, que se puede indexar a los planos (002), (100), (103), (006), (105) y (110), respectivamente, correspondientes a la fase hexagonal de MoS₂ de PDF 00-37-1492. El tamaño de cristal y la deformación de la red se calcularon mediante las Ecs. (1) y (2) para las heteroestructuras, como se muestra en la Tabla 1, donde el tamaño de cristal va disminuyendo conforme se adiciona la fase de MoS₂ a la heteroestructura e incrementa la distorsión de la red.

Tabla 1. Propiedades ópticas de las heteroestructuras

Muestra	E _g (eV)	Tamaño de cristal (nm)	Distorsión de la red (%)	Área Superficial (m ² .g ⁻¹)
CN	2.80	14.0	1.501	4.80
0.5MS/CM	2.60	13.9	1.505	-
1 MS/CM	2.40	12.9	1.516	13.98
3 MS/CM	2.28	11.9	2.884	-
5 MS/CM	2.20	11.7	2.978	-
MoS ₂	1.27	11.6	2.999	8.24

Los resultados mostraron que a muestra MoS₂ tiene el mayor grado de cristalinidad y al incrementar la cantidad de MoS₂ muestra un incremento en el grado de cristalinidad, lo cual es corroborado por la disminución del tamaño de cristal y del aumento de la distorsión de la red, como se ve en la Fig. 2b.

El área superficial del MoS₂, gC₃N₄ y del fotocatalizador de 1 MS/CN fueron examinadas usando isoterma de adsorción-desorción de N₂. Los resultados se muestran en la tabla 1 demostrando que la heteroestructura tiene la mayor área superficial en comparación de los materiales puros. También, se ha realizado espectroscopía de reflectancia difusa (DRS) para analizar las propiedades ópticas de las heteroestructuras MS/CN, utilizando la Ec. (3) para obtener la energía de banda prohibida de cada muestra.

Como se ve en la Tabla 1, el g-C₃N₄ muestra absorción de energía a partir de valores de 550 nm, lo que indica que el material puede excitarse bajo la irradiación de luz visible. El valor de la energía de banda prohibida se estimó en 2.8 eV, lo cual es coherente con la literatura [10]. Al incrementar la cantidad de MoS₂ en las heteroestructuras, la longitud de onda fue incrementada hacia región del infrarrojo cercano. La muestra MoS₂ obtuvo un valor de energía de banda prohibida de 1.27 eV, lo que indica que la muestra se excita bajo irradiación infrarroja.

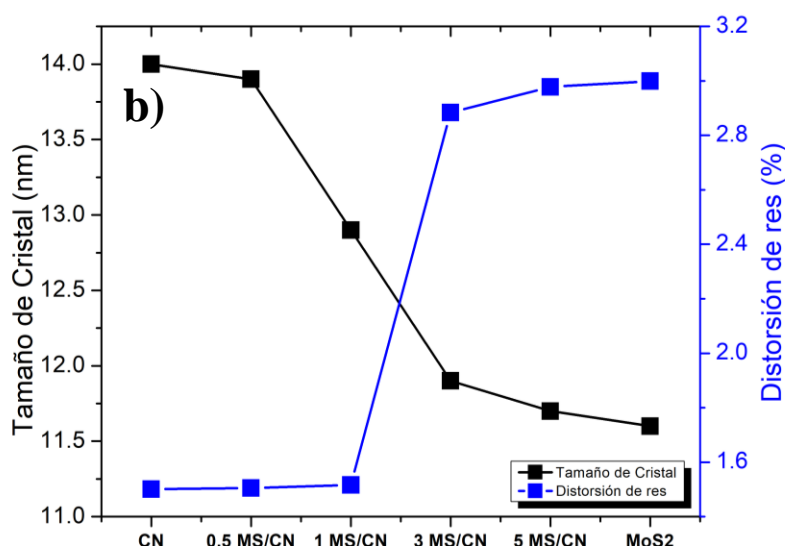
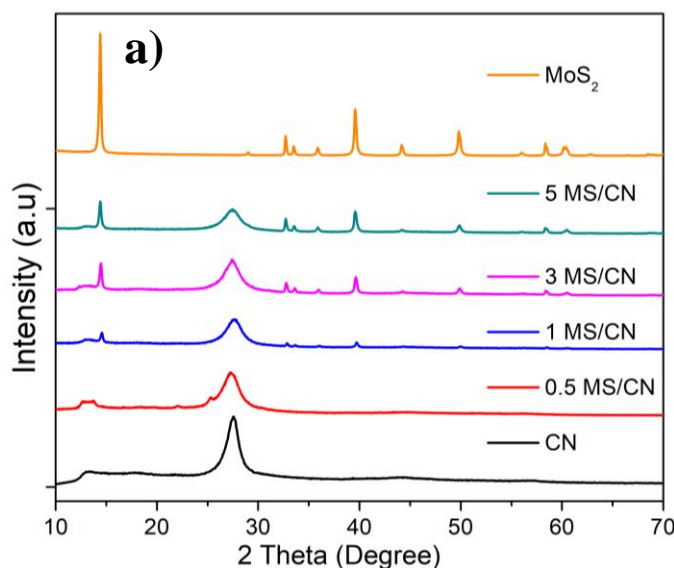


Figura 2. Patrones de difracción de rayos X (a) y grafica con la distorsión de red y tamaño de cristal (b).

En la Figura 3, se analizó la morfología mediante las imágenes de SEM para heteroestructuras MS/CN. La imagen del CN (3a) muestra una morfología de apilados con forma de lámina rugosas con algunas aglomeraciones de un tamaño de agregados alrededor de 3 a 5 μm , que se debe a los sitios de nucleación bajos y al posterior crecimiento de grandes cristales individuales. Las heteroestructuras MS/CN (b-e) tienen forma y morfología de láminas, pero con el aumento de la incorporación de MoS₂, las heteroestructuras muestran superficies mucho más lisas debido al crecimiento de cristales más pequeños. En la Figura 3c, se muestra una óptima impregnación del MoS₂ sobre la superficie del gC₃N₄. En la fig. 3f, se observa una morfología tipo hoja con una superficie lisa del MoS₂ puro, con un tamaño de agregados alrededor de 1 a 3 μm .

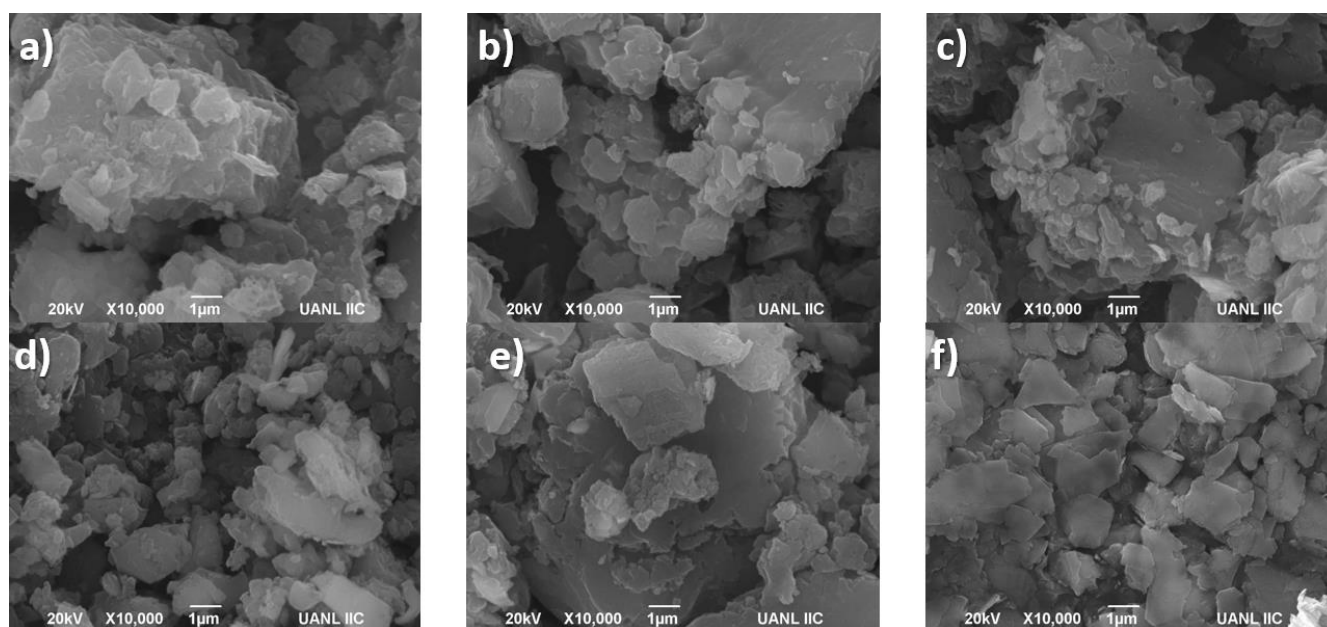


Figura 3. Imágenes de SEM de CN (a), 0.5MS/CN (b), 1 MS/CN (c), 3 MS/CN (d), 5 MS/CN (e) y MoS₂ (f).

Evaluación fotocatalítica de las heteroestructuras

Se empleó como contaminante modelo el ácido salicílico (SA) para evaluar la actividad fotocatalítica de las heteroestructuras MS/CN, así como g-C₃N₄ (CN) y MoS₂ puro bajo irradiación de luz solar simulada (Figura 4). La concentración inicial del SA fue de 25 mg. L⁻¹. El experimento de fotólisis fue realizado en ausencia de catalizador lo que indica que en la descomposición de SA es necesario la presencia de un fotocatalizador bajo irradiación de luz solar simulada.

La actividad fotocatalítica de los compuestos MS/CN podría atribuirse al efecto sinérgico entre dos componentes de MoS₂ y g-C₃N₄. La muestra 1 MS/CN exhibe la mayor eficiencia de degradación del 80% con un tiempo de vida media de 128 min después de 4h de irradiación UV-Vis, mientras que la muestra CN y MoS₂ degradó solo el 35% y 3%, respectivamente. Esto indica que la combinación de propiedades fisicoquímicas como la morfología, un adecuado grado de cristalinidad y energía de banda prohibida presentando una alta área superficial son factores claves en la fotodegradación de SA.

La alta área superficial en el catalizador 1MS/CN que en el gC₃N₄ podría deberse a los defectos estructurales ocasionados por la impregnación de MoS₂, lo cual puede contribuir a aumentar los sitios activos que favoreció la reacción interfacial como el proceso de fotocatalisis. La heteroestructura tiene una eficiente separación de cargas debido a que la distancia recorrida por las cargas fotoexcitadas en la lámina es corta más corta en comparación con otras morfologías; además la morfología tipo lámina puede absorber muchos fotones en un tiempo notablemente corto debido a su gran área de sección, lo cual es beneficioso para la fotocatalisis. De igual manera, la presencia de MoS₂ con banda prohibida estrecha acelera las propiedades de captación de luz del g-C₃N₄.

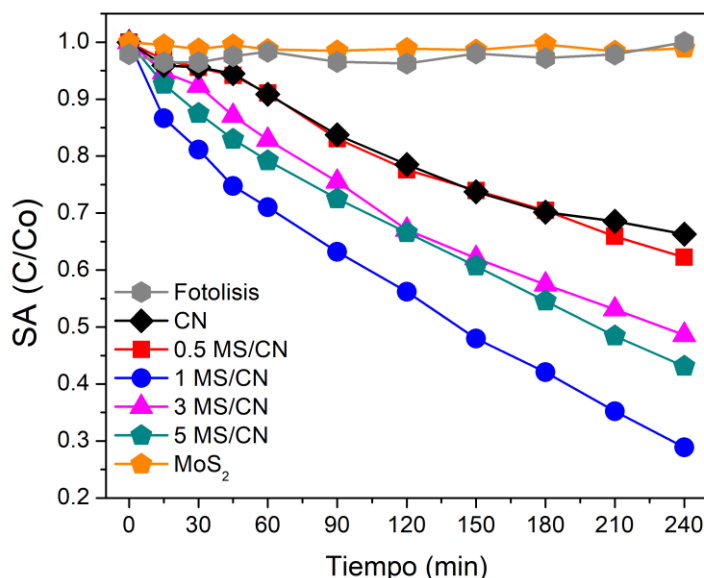


Figura 4. Degradación fotocatalítica del ácido salicílico.

Durante la degradación de SA, algunas especies oxidantes altamente reactivas (hROS) se generan sobre la base de los pares hueco-electrón generados en la interfaz de la heteroestructura irradiada, que es esencial para comprender el mecanismo de la fotocatalisis. Los huecos (h⁺) son hROS generados por fotocatalizador, que son capaces de oxidar contaminantes orgánicos en las aguas residuales. Otros hROS producidos durante la fotodegradación son H₂O₂, O₂⁻ y ·OH. Con el fin de determinar el papel que tiene cada hROS en la fotodegradación, varios agentes secuestrantes fueron empleados durante las pruebas fotocatalíticas, como se ve en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades ópticas de las heteroestructuras

Agente Secuestrante	Especie oxidante reactiva	Dosis
Catalasa	H ₂ O ₂	935,000 U.L ⁻¹
Benzoquinona	O ₂ ⁻	0.02 M
Isopropanol	·OH	0.02 M
Yoduro de Potasio	h ⁺	0.02 M

En la figura 5a, se determinó el efecto de la catalasa en la degradación de SA se inhibió alrededor del 10% para lo que implica que los radicales H₂O₂ no son los involucrados en el proceso de fotodegradación. Para confirmar el papel del anión superóxido y radicales hidroxilos se llevó a cabo en presencia de benzoquinona e isopropanol como secuestradores de especies, respectivamente. La adición de estos secuestradores, obtuvieron una degradación de SA del 40% en comparación de la muestra 1 MS/CN sin secuestradores. Estos resultados sugirieron que la contribución de los radicales hidroxilos en la degradación de SA es considerable. Los iones de yoduro (KI) se pueden utilizar como secuestrador del radical h⁺ para determinar el papel de la reacción de oxidación entre los huecos generados en el semiconductor y el agua para la generación de radicales hidroxilos. Se encontró que KI tiene una notable influencia en la degradación de SA con un porcentaje de inhibición alrededor 60%. Por tanto, los h⁺ formados en la VB, son factor esencial en la eliminación de SA mediante la generación de radicales ·OH.

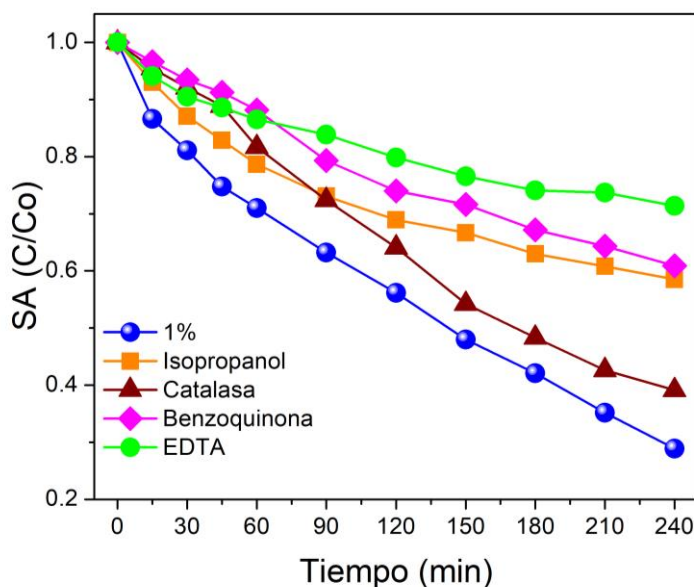


Figura 5. Experimentos de secuestradores de especies oxidantes.

Conclusiones

En conclusión, se sintetizó con éxito la heteroestructura $\text{MoS}_2/\text{gC}_3\text{N}_4$ a través del método de sonoquímica. La heteroestructura 1 MS/CN obtuvo una notable mejora en la actividad fotocatalítica en la degradación de ácido salicílico bajo irradiación de luz visible simulada. El alto rendimiento fotocatalítico se puede atribuir a los efectos de la adición de MoS_2 , que mejora la absorción de la luz, al incremento de sitios activos que ayudó a acelerar la separación y transferencia de pares hueco-electrón fotogenerados. La prueba con secuestradores de especies oxidantes demuestra que los huecos fotogenerados juegan un papel dominante en la oxidación del agua para la producción de radicales hidroxilos. En general, la heteroestructura MS/CN que se sintetizó en este trabajo ha mostrado tener potencial como fotocatalizador prometedor en la remediación ambiental.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma de Nuevo León por el proyecto PAICYT No. 268-CE-2022 y a CONACYT-SEP por el apoyo del proyecto CB2017-2018 No. A1-S-9529.

Referencias

- [1] Zhi Zhu, Ziyang Lu, Dandan Wang, Xu Tang, Yongsheng Yan, Weidong Shi, Youshan Wang, Nailing Gao, Xin Yao, Hongjun Dong, *Appl. Catal. B: Environ.* Vol. 182, 115–122, 2016
- [2] J. Han, X. Zheng, L. Zhang, H. Fu, J. Chen. Removal of SO_2 on a nanoporous photoelectrode with simultaneous H_2 production *Environ Sci Nano*, 4(4), 834-842, 2017
- [3] Q. Liang, Z. Li, X. Yu, Z.H. Huang, F. Kang, Q.H. Yang, Macroscopic 3D porous graphitic carbon nitride monolith for enhanced photocatalytic hydrogen evolution, *Adv. Mater.* Vol. 27, 4634–4639, 2015.
- [4] Pezhman Molaei and Fereshteh Rahimi-Moghadam. "Porous g-C $_3$ N $_4$ nanosheets through facile thermal polymerization of melamine in the air for photocatalyst application". *J Mater Sci: Mater Electron*, vol. 32, 19655–19666, 2021.

- [5] Raphael M. Obodo, Muhammad Asjad, Assumpta C. Nwanya, Ishaq Ahmad, Tingkai Zhao, A. B. C. Ekwealor, Paul M. Ejikeme, Maalik Maaza, Fabian I. Ezema. "Evaluation of 8.0 MeV Carbon (C^{2+}) Irradiation Effects on Hydrothermally Synthesized $Co_3O_4-CuO-ZnO@GO$ Electrodes for Supercapacitor Applications" *Electroanalysis*, Vol. 32, No. 12 Special Issue: 65th Birthday of Prof Emmanuel Iwuoha: Electrochemistry in Africa, 2958-2968, 2020.
- [6] Christian Gómez-Solís, J. Oliva, L.A. Diaz-Torres, J. Bernal-Alvarado, Veridiana Reyes-Zamudio, Amir Abidove, Leticia M. Torres-Martinez. "Efficient photocatalytic activity of $M\text{SnO}_3$ (M: Ca, Ba, Sr) stannates for photoreduction of 4-nitrophenol and hydrogen production under UV light irradiation". *J. Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, Vol. 371, 365-373, 2019.
- [7] A.Vázquez, S.Obregón, D.B.Hernández-Uresti. "Electrophoretic deposition of flower-like $CaBiVMoO_8$ particles for the photocatalytic degradation of pharmaceutical pollutants". *Colloid and Interface Science Communications*. Vol. 34, 100223, 2020.
- [8] Ahmed Mahdi Saeed, Mohammed Jassim Hamzah, Noor Qasim Ahmed. "Quantitative assay of aspirin and (salicylic acid and heavy metals as impurities) in iraqi's market aspirin tablets using different analytical methods". *International Journal of Applied Pharmaceutics*, Vol.10, No.5, 2018
- [9] Bicheng Zhu, Liuyang Zhang, Bei Cheng, Yan Yu, Jiaguo Yua. "H₂O molecule adsorption on s-triazine-based g- C_3N_4 " *Chinese Journal of Catalysis*. Vol. 42, No. 1, 115-122, 2021.
- [10] Mohan Kumar Kesarla, Manuel Octavio Fuentes-Torres, Manuel Antonio Alcudia-Ramos, Filiberto Ortiz-Chi, Claudia Guadalupe Espinosa-González, Miguel Aleman, Jose Gilberto Torres-Torres, Srinivas Godavarthi. "Synthesis of g- C_3N_4/N -doped CeO_2 composite for photocatalytic degradation of an herbicide" *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 8, No. 2, 1628-1635, 2019.

Efecto del tratamiento de ultrasonido y pH en la extracción de proteínas de *Cnidoscolus chayamansa*

M.L. Sánchez Mundo^{1*}, E. Hernández Domínguez², V. Espinosa Solis³, R.G. Hernández Nava⁴, R. García Barrientos⁵

¹Tecnológico Nacional de México Campus Las Choapas. Carretera Las Choapas-Cerro de Nanchital km 6.0. Col. J. Mario Rosado. Las Choapas, Veracruz. C.P. 96980. México. *sanchez_mundo@hotmail.com

²Unidad de Investigación en Biotecnología Vegetal, TecNM Campus Acayucan. Carretera Costera del Golfo km 216.4. Col. Agrícola Michapa. Acayucan, Veracruz. C.P. 96100. México. elijed@gmail.com

³Coordinación Académica Región Huasteca Sur, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Km 5, Carretera Tamazunchale-San Martín, Tamazunchale, San Luis Potosí, C.P. 79960. México. vicente.espinosa@uaslp.mx

⁴Escuela Superior de Nutrición y Ciencia de los Alimentos, Campus Llano Largo de la Universidad Autónoma de Guerrero. rociouagro@gmail.com.

⁵Universidad Politécnica de Tlaxcala Av. Universidad Politécnica #1, San Pedro Xalcatzinco CP 90180, Tepeyanco, Tlaxcala. raquel.garcia@uptlax.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

La chaya (*Cnidoscolus chayamansa*) contiene un 26 % de proteína. La sonicación es una tecnología emergente para la extracción de material intracelular de plantas. El método de ultrasonificación solo o en combinación con cambios de pH puede ser aplicado como un medio para mejorar la extracción o propiedades tecnofuncionales de proteínas. En este trabajo se aplicó la sonicación, agitación y en combinación, con cambios de pH 5, 7 y 9 para evaluar su efecto en la extracción de proteínas, perfil electroforético y capacidad antioxidante de hoja de chaya (*Cnidoscolus chayamansa*), se utilizó el software estadístico Minitab 16 para el análisis de los resultados. A pH 9 se logró la mayor extracción de proteínas con 112.298 mg/mL, sin diferencias significativas entre los métodos de extracción empleados, ni cambios significativos en el perfil electroforético. El tratamiento de sonicación a pH 9 alcanzó el valor máximo de 74.4 µgTrolox. La ultrasonificación puede ser una buena alternativa por el menor tiempo empleado en la extracción.

Palabras clave: Chaya, Lowry, Electroforesis, Antioxidante

Abstract

Chaya (*Cnidoscolus chayamansa*) contains 26 % protein. Sonication is an emerging technology for the extraction of intracellular material from plants. The ultrasonication method alone or in combination with pH changes can be applied as a means to improve the extraction or technofunctional properties of proteins. In this work, sonication, stirring and in combination, with changes in pH 5, 7 and 9 were applied to evaluate its effect on protein extraction, electrophoretic profile and antioxidant activity of chaya leaf (*Cnidoscolus chayamansa*), Minitab 16 statistic software was used in analysis results. At pH 9 the highest protein extraction was achieved with 112,298 mg/mL, without significant differences between the extraction methods used, however, ultrasonication can be a good alternative due to the shorter time spent in the extraction. The sonication treatment at pH 9 reached the maximum value of 74.4 µgTrolox.

Key words: Chaya, Lowry, Electrophoresis, Antioxidant

Introducción

La búsqueda de nuevas fuentes de proteínas es una importante tendencia de investigación, en especial las proteínas vegetales, las cuales deben poseer un alto valor nutricional, ser aceptadas por el consumidor y poseer buenas propiedades funcionales para su incorporación como ingredientes en la elaboración de alimentos destinados al consumo humano [1]. Diversos investigadores han reportado que las proteínas aisladas de fuentes vegetales muestran diferentes bioactividades las cuales incluyen actividad antioxidante, hepatoprotectora y antiinflamatoria [2-3] y se han estudiado sus propiedades funcionales para su aplicación en formulación de

alimentos [4-6]. Las hojas de vegetales verdes son conocidas por su bajo costo y la principal fuente potencial de proteínas (20-30 %), minerales (micro y macro) y vitaminas [6].

En la actualidad, la industria de alimentos ha incorporado con éxito las tecnologías llamadas emergentes, combinadas con tecnologías convencionales o en aplicaciones específicas relacionadas con el procesamiento, conservación y extracción de componentes de los alimentos. La sonicación es una técnica potencial para la extracción de fitoconstituyentes y puede ser usada en muchas aplicaciones industriales, incluyendo el procesamiento de alimentos [7]. La extracción asistida por ultrasonido se ha reportado como una técnica eficiente para la extracción de proteínas, debido a su alto rendimiento, baja cantidad de solvente y corto tiempo de extracción [8-9] ha sido utilizada para la extracción de péptidos y proteínas de productos naturales, así como en la encapsulación de péptidos en los cuales ha mejorado su biodisponibilidad y estabilidad [10].

Se ha descrito a la chaya (*Cnidocolus chayamansa*) con un contenido proteico de un 26-27 %, así como un contenido importante de flavonoides, triterpenos y esteroides principalmente, respecto a sus actividades biológicas descritas destaca la actividad antioxidante, hipoglucemiante, hepatoprotectora, cardioprotectora, entre otras [11-13]. En hoja de chaya existe escasa información sobre las proteínas, sus características de solubilidad y posibles funciones bioactivas, por lo que en este trabajo se propone el uso de la sonicación para la extracción de proteínas en las hojas de chaya, en diferentes condiciones de pH así como su evaluación de actividad antioxidante por el método de ABTS*.

Metodología

Material biológico

Las hojas de *Cnidocolus chayamansa*, se cosecharon manualmente de diferentes plantas en la región de Las Choapas, Ver., (17° 55' de latitud norte y 94° 06' longitud oeste, a una altura de 10 m sobre el nivel del mar), posteriormente fueron transportadas al Laboratorio de Usos Múltiples del Tecnológico Nacional de México Campus Las Choapas.

Reactivos

Los reactivos utilizados en este proyecto fueron de la marca J. T. Baker (Phillipsburg, NJ, USA), Sigma – Aldrich, (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA); Merck (Darmstadt, Germany).

Preparación de polvos de hojas secas

Se procedió al lavado de las hojas para eliminar toda partícula extraña con el uso de un desinfectante comercial marca ProbacterClean JLG, S.A de C.V. Las hojas libres de daño se colocaron en una estufa de secado (NOVATECH®) a 40 °C durante 24 h. Las hojas de chaya secas se trituraron en un molino comercial (Modelo KRUPS GX4) y tamizadas en una malla 40. Las hojas de chaya secas y molidas fueron desengrasadas en soxhlet, utilizando n-hexano como solvente, por un periodo de 3 h. Para eliminar las clorofilas y otros compuestos polifenólicos, los polvos de hoja de chaya se extrajeron en agitación con acetona (relación 1:10), el residuo final se secó al aire en una campana de extracción durante 24 h. El polvo de hojas secas desengrasadas se almacenó en bolsas de plástico herméticas hasta su uso para la extracción de las fracciones proteicas.

Preparación de extractos

La extracción de proteínas se realizó bajo tres tratamientos, T1: agitación, T2: agitación/sonicación y T3: sonicación a tres condiciones de pH 5, 7 y 9. Para cada tratamiento se empleó una dispersión (relación 1:10) con 1 g de polvo de hojas de chaya y 10 mL de agua ajustada al pH de estudio (usando NaOH o HCl 0.1 N). En el T1 las muestras se mantuvieron en agitación magnética a 4° C durante 2 h, mientras que el T2 las muestras fueron procesadas en un baño ultrasónico (Brandson Civeq, Mod.8892), durante 1 h y en agitación magnética 1 h, en el T3 las muestras se sometieron a ultrasonificación durante 1 h. Todos los tratamientos fueron llevados a 4° C para prevenir el sobrecalentamiento. Las dispersiones fueron centrifugadas a 1000 rpm durante 15 min.

Cuantificación de Proteína (Lowry Modificado)

El contenido de proteínas de las diferentes extracciones fue cuantificado mediante el método de Folin-Lowry modificado por Markwell et al. [14]. Las muestras se leyeron espectrofotométricamente a una longitud de onda de 660 nm.

Electroforesis SDS-PAGE

Las fracciones proteicas se analizaron por electroforesis en gel en condiciones desnaturalizantes (SDS-PAGE) de acuerdo con Laemmli [15] utilizando acrilamida al 11 % y 5 % como separador y concentrador respectivamente. Para la inyección de la muestra se tomaron 3 μL del marcador de bajo peso molecular y 15 μL de cada una de las fracciones proteicas. Posteriormente se corrió el gel en la cámara de electroforesis Labnet's ENDURO™ a 120 V durante 3 h. Los geles se tiñeron con azul brillante de Coomassie. Las bandas de los distintos perfiles de los extractos proteicos fueron analizadas mediante el programa 1Dscan EX Versión 3.1 por Windows (Scanalytics, Inc).

Determinación de capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante fue evaluada usando el radical ABTS^{•+} (2,2'-azinobis 3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico) siguiendo el método modificado de acuerdo con Re et al. [16]. Se realizó una curva de calibración estándar de inhibición con 6-hidroxi-2, 5, 7, 8 - tetrametilcroman-2- ácido carboxílico (Trolox) en una concentración de 0-60 μM . El porcentaje de inhibición se estimó como: % de inhibición = $[(A_0 - A_F) / A_0] \times 100$ donde A_0 y A_F son las absorbancias iniciales y finales respectivamente. La curva estándar del ensayo fue obtenida por extrapolación, empleando Trolox como agente oxidante de referencia y la actividad antioxidante se expresó en μg equivalentes de Trolox (μg ET) utilizando la curva tipo. Todos los experimentos se llevaron a cabo por triplicado y repetidos dos veces. Los datos reportados son la media \pm desviación estándar (DE).

Análisis estadístico

Todos los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía para la comparación múltiple de medias (Tukey, 0.05) utilizando el software estadístico MINITAB 16 (Minitab, Inc. 2010) [17].

Resultados y discusión

Contenido de proteínas

En la Tabla 1 se muestran los resultados del contenido de proteínas de hojas de chaya en el presente estudio. Los resultados muestran que cuando el pH de la solución es alcalino se obtiene una mayor extracción, detectándose en el tratamiento de sonicación a pH 9 el mayor contenido de proteínas con un valor de 112.28 mg/mL; sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de extracción. El tratamiento de sonicación a pH 7 mostró diferencias significativas en el contenido de proteínas extraído con respecto a los otros tratamientos de extracción. Estos resultados coinciden con lo reportado en extracciones asistidas por ultrasonidos de aislados de proteínas de hojas vegetales comestibles como amaranto, berenjena y calabaza, en las cuales la proteína incrementó su solubilidad a pH 7.0-9.0 [4] y en harina de soya, hojuelas de soya desengrasadas, garbanzo, judías con un valor de pH 8.5 [18-19].

Las variaciones en el pH del medio afectan la solubilidad de las proteínas, se modifica su ionización y carga neta, alterando sus fuerzas atractivas y repulsivas y la aptitud de asociarse con agua. A valores de pH superiores e inferiores al punto isoeléctrico (pI), la proteína adquiere un incremento en su carga neta negativa o positiva, respectivamente. Estas cargas generan nuevos sitios de unión para el agua y resultan en la repulsión entre moléculas de proteína, incrementando su superficie de hidratación y en consecuencia, su solubilidad [20]. De acuerdo a los resultados la sonicación resulta ser una buena alternativa de extracción proteica en un menor tiempo independientemente del pH del medio de la solución, el incremento en el rendimiento de extracción de proteínas por sonicación podría ser atribuido a la propagación de la presión del ultrasonido resultando en el fenómeno de la cavitación. La energía liberada durante el colapso de las burbujas durante la cavitación puede promover una alta penetración del solvente en el material celular el cual, mejora la transferencia de masa de las interfases [6]. Por otra parte, el impacto sobre la estructura proteica varía dependiendo de la intensidad del ultrasonido y de la matriz vegetal, por lo que se podrían evaluar menores tiempos de aplicación, así como diferentes intensidades de ultrasonido.

Tabla 1. Contenido de proteínas de acuerdo con la solubilidad y pH obtenido en los tres tratamientos

Tratamientos	Contenido de Proteínas (mg/mL)		
	pH 5	pH 7	pH 9
Agitación	22.10 ± 4.14 ^a	18.34 ± 0.78 ^b	103.59 ± 2.26 ^a
Sonicación/Agitación	21.61 ± 6.35 ^a	21.34 ± 0.13 ^b	138.3 ± 13.20 ^a
Sonicación	20.57 ± 2.38 ^a	29.95 ± 2.32 ^a	112.28 ± 2.32 ^a

Las desviaciones estándar se obtuvieron a partir de n=3. Medias con la misma letra entre columnas no presentan diferencia estadística (Tukey, p≤0.05).

Electroforesis SDS-PAGE

El análisis SDS-PAGE reveló que a pH 5.0, no se observaron diferencias en los perfiles electroforéticos obtenidos en los tres tratamientos, con cuatro bandas principales de pesos moleculares de 128 KDa, 77 KDa, 25 KDa y 19.9 KDa, siendo la banda de 25 kDa la de mayor intensidad.

A pH 7 se revelaron ligeros cambios en el perfil de proteínas de los tres tratamientos, se identificaron 6 bandas en el T1 y T2 con bandas de 145 KDa, 128 KDa, 82 KDa, 39 KDa, 25 KDa y 6.4 KDa, dichas bandas fueron más intensas que las observadas a pH 5.0, repitiéndose la banda de 25 kDa como la de mayor intensidad. En el T3 se observaron 8 proteínas, con pesos moleculares de 145 KDa, 128 KDa, 82 KDa, 29 KDa, 25 KDa, 21 KDa, 5.7 KDa y 3.9 KDa, lo que significa que en estas condiciones y la implementación de método de sonicación se pueden extraer la mayor parte de proteínas presentes en las hojas de *C. chayamansa*. Esto puede justificarse debido a que a valores de pH superiores e inferiores al punto isoeléctrico (pI), la proteína adquiere un incremento en su carga neta negativa o positiva, respectivamente. Estas cargas generan nuevos sitios de unión para el agua y resultan en la repulsión entre moléculas de proteína, incrementando su superficie de hidratación en consecuencia, su solubilidad [21].

Por último, a pH 9 se observa que el perfil de proteínas no fue afectado por el tratamiento de ultrasonido, con un patrón similar con respecto a las otras condiciones de pH de estudio. Se detectaron seis bandas presentes en cada tratamiento, en general con pesos moleculares de 136 KDa, 120 KDa, 53 KDa, 34 KDa, 20 KDa y 6 KDa. La presencia de un mismo patrón proteico indica que no hubo degradación o agregación como resultado de la sonicación. Estos resultados coinciden con lo reportado en aislados de proteína de soya [22] y canola [23].

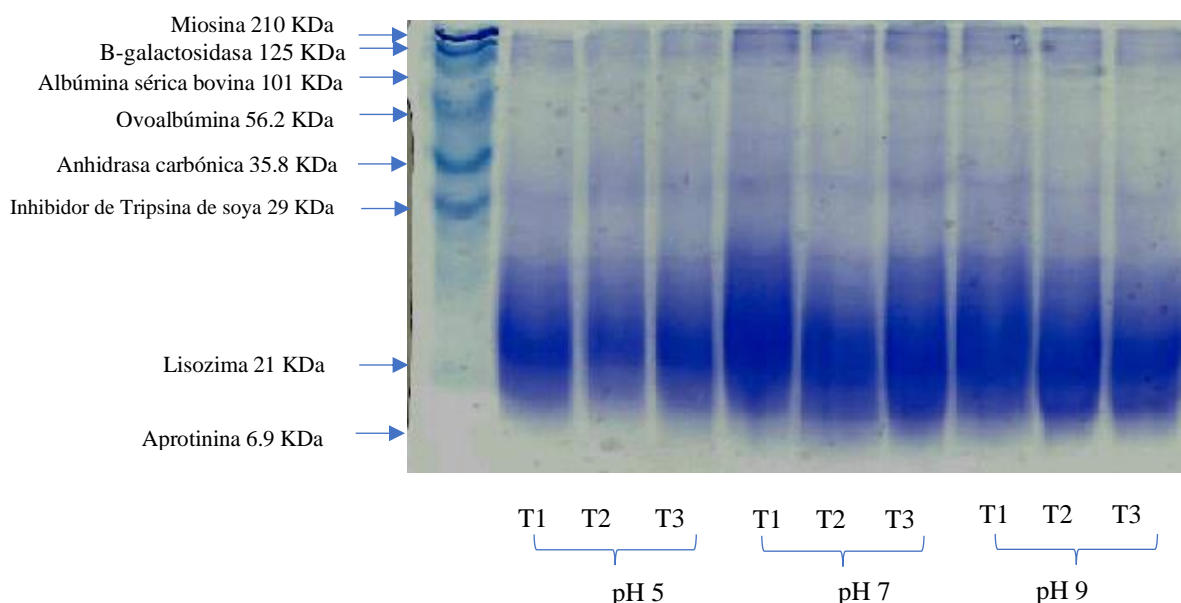


Figura 1. SDS-PAGE de fracciones de proteína con tratamientos de agitación (T1), agitación/sonicación (T2) y sonicación (T3) bajo condiciones de pH 5, 7 y 9.

Capacidad antioxidante

Los valores de la capacidad antioxidante de las fracciones proteicas analizadas empleando ABTS^{•+} se muestran en la tabla 2. Los valores obtenidos a pH 5 y 7 no mostraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, en el caso de pH 9 se obtuvo la mayor actividad antioxidante con respecto a pH 5 y 7, el tratamiento de sonicación a pH 9 alcanzó el valor máximo de 74.4 µgTrolox Equivalente, este valor es mayor que los 49.85 ± 5.3 µgTrolox de actividad antioxidante detectados en un extracto de acetona de hoja de чая [24].

Se ha reportado la capacidad antioxidante en hidrolizados de globulina de garbanzo obtenidos con pretratamientos de pulsos ultrasónicos, detectándose una reducción del porcentaje de inhibición de ABTS^{•+} en los extractos proteicos y en los hidrolizados que recibieron pretratamiento de ultrasonido en comparación con extractos e hidrolizados sin ultrasonidos [25]. Por otra parte, se ha descrito el uso de un pretratamiento con ultrasonido en la obtención de hidrolizados antioxidantes de proteína de microalga *Dunaliella salina*, donde el uso del ultrasonido generó una disminución de la actividad antioxidante en un lapso de 30 min [26].

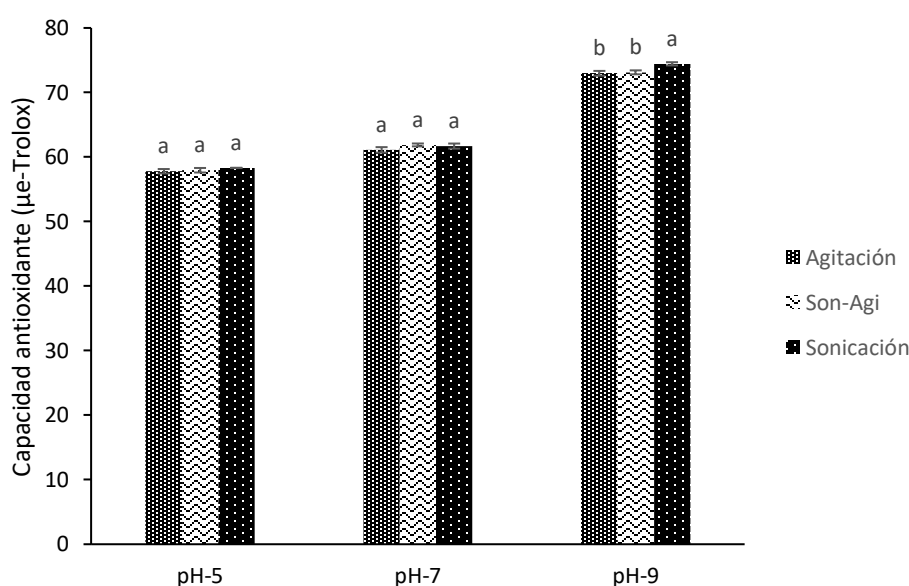


Figura 2. Capacidad antioxidante de fracciones proteicas de hojas de *Cridoscolus chayamansa*.

Trabajo a futuro

Realizar pruebas con menor tiempo de pretratamiento de sonicación, así como evaluar la actividad antioxidante con los métodos de 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH) y capacidad de reducción férrica del plasma (FRAP, por sus siglas en inglés) así como evaluar otra bioactividad en ensayos *in vitro* de las fracciones peptídicas, tal como la antihipertensiva. Con esto se busca que un alimento consumido de manera tradicional en México sea considerado como una fuente importante de proteínas y que permita su futura incorporación en el diseño de alimentos funcionales con propiedades bioactivas.

Conclusiones

El mayor contenido de proteínas se detectó en la condición de pH 9, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos de extracción; sin embargo, la sonicación puede ser una buena alternativa de extracción considerando que se reducen los tiempos de extracción en comparación con los otros métodos empleados en este estudio. En el tratamiento de sonicación a pH 9 se detectó el valor máximo de actividad antioxidante de 74.4 µgTrolox, sin afectar el perfil proteico realizado en el análisis SDS-PAGE. Las fracciones obtenidas podrían ser una alternativa de aplicación futura en matrices alimentarias para el desarrollo de alimentos funcionales.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto 3985.22-PD "Efecto de la sonicación sobre el perfil proteico, actividad antioxidante y antihipertensiva de la hoja de chaya (*Cnidoscolus chayamansa*)" con clave 3985.22-PD de la Convocatoria 2022 Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación, para los Institutos Tecnológicos Federales, Descentralizados y Centros.

Referencias

- [1] E.C.Y. Li-Chan, and I.M.E. Lacroix, "Properties of proteins in food systems: An introduction". In *Proteins in food processing*; Woodhead Publishing: Sawston, UK, pp. 1–25, 2018.
- [2] K. Posada, "Actividad antioxidante in vitro de extractos etanólicos de *Cnidoscolus chayamansa*". Tesis Profesional de Licenciatura. Tecnológico Nacional de México, Campus De la Región Sierra, Teapa, Tabasco, 2020.
- [3] Z. Mariana, A. Pérez-González, G. Sordia-Reyes, P. Damián-Nava, S. Hernández-Ortega, M.L. Macías-Rubalcava, M. A. Jiménez-Arellanes, "Hepatoprotective and antiinflammatory activities of the *Cnidoscolus chayamansa* (Mc Vaugh) leaf extract in chronic models", *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, pp. 1-12, 2018
- [4] A. Akinsola A. Famuwagun, M. Adeola M. Alashi, O. Saka, Gbadamosi, A. Kehinde Taiwo , Durodoluwa J. Oyedele, C. Odunayo, Adebooye & R. E. Aluko, "Comparative study of the structural and functional properties of protein isolates prepared from edible vegetable leaves", *International Journal of Food Properties*, 23:1, 955-970, 2020, DOI: 10.1080/10942912.2020.1772285.
- [5] M.M. Rahman and B. Lamsal, "Ultrasound-assisted extraction and modification of plant-based proteins: Impact on physicochemical, functional, and nutritional properties, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 20, pp. 1457-1480, 2020.
- [6] J. Saha & S. C, "Deka Functional properties of sonicated and non-sonicated extracted leaf protein concentrate from *Diplazium esculentum*," *International Journal of Food Properties*, vol. 20, no. 5, pp.1051-1061, 2017. DOI: 10.1080/10942912.2016.1199034.
- [7] M. Ranjha, S. Irfan, J.M. Lorenzo, B. Shafique, R. Kanwal, M. Pateiro, R.N. Arshad, L. Wang, G.A. Nayik, U. Roobab and R Aadil, "Sonication, a Potential Technique for Extraction of Phytoconstituents: A Systematic Review," *Procesos*, vol. 9, no. 8, pp. 1406, 2021. <https://doi.org/10.3390/pr9081406>.
- [8] Y. Zou, L.Wang, P. Li, P. Cai, M. Zhang, Z. Sun, C. Sun, Z. Geng, W. Xu and X. Xu, "Effects of ultrasound assisted extraction on the physicochemical, structural and functional characteristics of duck liver protein isolate," *Process Biochemistry*, vol. 52, pp. 174-182, 2017.
- [9] M. Masooma, N. Muhammad, Q. Tahir Mahmood, J. Charitha, Gamlathb, J.O. Gregory, Y. Martine, H. Yacine, A. Muthupandian, "Effect of sonication, microwaves and high-pressure processing on ACEinhibitory activity and antioxidant potential of Cheddar cheese during ripening", *Ultrasonics-Sonochemistry*, vol. 67. 105140, 2020.
- [10] L. Abadía-García, E. Castaño-Tostado, L. Ozimek, S. Romero-Gómez, C. Ozuna and S.L. Amaya-Llano, "Impact of ultrasound pretreatment on whey protein hydrolysis by vegetable proteases", *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 37, pp. 84-90, 2016.
- [11] R. Valenzuela-Soto, J. Jiménez-Villarreal, R. García-Garza, N. Betancourt-Martínez, R. Lozoya-Martínez, D. Almaráz-Celis, and J. Morán-Martínez. E, "Evaluation of the Antioxidant Activity of *Cnidoscolus chayamansa* (Chaya), *Euphorbia prostrata* (Herb of the Swallow) and *Jatropha dioica* (Drago blood) in Wistar rats Induced to Hyperglycemia", *International Journal of Morphology*, vol. 37, no. 1, 2019.

- [12] K. Posada, "Actividad antioxidante in vitro de extractos etanólicos de *Cnidocolus chayamansa*". Tesis Profesional de Licenciatura. Tecnológico Nacional de México, Campus De la Región Sierra, Teapa, Tabasco, 2020.
- [13] Z. Mariana, A. Pérez-González, G. Sordia-Reyes, P. Damián-Nava, S. Hernández-Ortegra, M.L. Macías-Rubalcava, M. A. Jiménez-Arellanes, "Hepatoprotective and antiinflammatory activities of the *Cnidocolus chayamansa* (Mc Vaugh) leaf extract in chronic models", *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, pp. 1-12, 2018.
- [14] M. Markwell, S. Haas, L. Biebar, and N. Tolbert, "A modification of the Lowry procedure to simplify protein determination in membranes and in protein samples," *Analytical Biochemistry*, vol. 87, no. 1, pp. 206–211, 1978.
- [15] U.K Laemmli, "Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4", *Nature*, vol. 227, pp. 680-685, 1970.
- [16] R., Re, N., Pellegrini, A., Proteggente, A., Pannala, M., Yang, and C., Rice-Evans, "Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay", *Free Radical Biology and Medicine*, vol. 26, no. 9-10, pp 1231-1237, 1999.
- [17] Minitab Inc, 2010. Minitab 16 Statistical Software. Minitab Inc., State College, PA, retrieved from <http://www.minitab.com>.
- [18] M. M Rahman, S. Dutta, and B. Lamsal, "High-power sonication assisted extraction of soy protein from defatted soy meals: Influence of important process parameters [Manuscript submitted for publication]. Department of Food Science and Human Nutrition, Iowa State University, Ames, Iowa, USA. Resendiz-Vazquez, J. A., Ulloa, J. A., Urías-Silvas.2021.
- [19] B. Byanju, M.M., Rahman, M. P., Hojilla-Evangelista, and B.P. Lamsal, B. P., "Effect of high-power sonication pretreatment on extraction and some physicochemical properties of proteins from chickpea, kidney bean, and soybean", *International Journal of Biological Macromolecules*, 145, 712–721. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.118>.
- [20] L.C. Moreno-Nájera, J.A. Ragasso-Sánchez, C.R. Gastón-Peña and M. Calderón-Santoyo, "Green technologies for the extraction of proteins from jackfruit leaves (*Artocarpus heterophyllus* Lam)", *Food Science Biotechnology*, Springer, 2020.
- [21] G. Guivar and M. Menor, "Efecto del pH en la obtención de aislado proteico de moringa (*Moringa oleífera*) y su aplicación en galletas", Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. pp, 53-54, 2021.
- [22] P. Silventoinen and N. Sozer, "Impact of ultrasound treatment and pH-shifting on physicochemical properties of protein-enriched barley fraction and barley protein isolate", *Foods*, 9, 1055, 2020.
- [23] N.T. Flores-Jiménez, J.A. Ulloa, J. E.U. Silvas, J.C.R. Ramírez, P.R. Ulloa, P.U.B. Rosales, Y.S. Carrillo and R.G. Leyva, "Effect of high-intensity ultrasound on the compositional, physicochemical, biochemical, functional and structural properties of canola (*Brassica napus* L.) protein isolate", *Food Research International*, 121, pp. 947–956, 2019.
- [24] M. R. Segura-Campos, U. Us Medina, M. d. C. Millán Linares y V. Arana Argáez, "In vitro antioxidant and anti-inflammatory activity of chaya extracts (*Cnidocolus aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnst)", *Nutrición Hospitalaria*, Vol 37, No. 1, 2020. <https://doi.org/10.20960/nh.02752>.
- [25] M. F. González-Osuna, Efecto del pretratamiento con pulsos ultrasónicos en la obtención de fracciones peptídicas antioxidantes de proteínas de garbanzo (*Cicer arietinum* L.), Tesis de Maestría, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, 2020.
- [26] E. Xia, L., Zhai, Z. Huang, H., Liang, H. Yang, G., Song, W., Li, and H. Tang, "Optimization and identification antioxidant peptide from underutilized *Dunaliella salina* protein: Extraction, in vitro gastrointestinal digestion, and fractionation", *Biomed Research International*, vol. 2019, Article ID 6424651. <https://doi.org/10.1155/2019/6424651>.

Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de fibra de papa extranjera (*Oxalis tuberosa*)

R.C. Ramírez-Antonio¹, G. Vivar-Vera¹, J. Jiménez-Guzmán¹, F.E. González-Jiménez¹, A. Peredo-Lovillo^{1*}

¹Laboratorio de Ingeniería y Biotecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Oriente 6 1009, Rafael Alvarado, 94340, Orizaba, Veracruz, México.

*auperedo@uv.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

La "papa extranjera" u *Oxalis tuberosa* es una planta cultivada en zonas altas y frías en las regiones montañosas. En México, tiene popularidad debido a su tubérculo comestible rico en fibra. Sin embargo, el conocimiento de sus características fisicoquímicas y funcionales es escaso. Por lo tanto, en el presente trabajo se realizaron pruebas de flujo para conocer sus características fisicoquímicas y de almacenamiento; así como pruebas funcionales incluyendo capacidad de retención de agua y aceite, capacidad de hinchamiento e higroscopicidad. De acuerdo con los resultados obtenidos, la fibra mostró un flujo excelente en cuanto a su índice de Hausner y ángulo de reposo. Así como una capacidad de retención de aceite y agua, higroscopicidad e hinchamiento deseables en una fibra dietaria potencialmente funcional. Por lo tanto, la fibra de *Oxalis tuberosa* puede ser considerada como fibra dietaria con potenciales efectos anti-lipidémicos, aunque se requieren más estudios al respecto.

Palabras clave: Fibra, propiedades de flujo, propiedades funcionales, papa roja.

Abstract

The "papa extranjera" or *Oxalis tuberosa* is a plant cultivated in high and cold areas in the mountainous regions. In Mexico, it is popular due to its fiber-rich edible tuber. However, knowledge of its physicochemical and functional characteristics is scarce. Therefore, in the present work, flow tests were carried out to know its physicochemical and storage characteristics; as well as functional tests including water and oil retention capacity, swelling capacity and hygroscopicity. According to the results obtained, the fiber showed excellent flow in terms of its Hausner index and angle of repose. As well as desirable oil and water holding capacity, hygroscopicity and swelling for its consideration as a potentially functional dietary fiber. Therefore, *Oxalis tuberosa* fiber can be considered as a dietary fiber with potential anti-lipidemic effects, although more studies are required in this regard.

Key words: Fiber, flow properties, functional properties, red potato.

Introducción

La *Oxalis tuberosa* es una planta herbácea (no leñosa) originalmente cultivada en tierras altas de los Andes, desde Colombia hasta Argentina, Perú y Bolivia^[1]. En México, gracias a la popularidad de su tubérculo comestible, es cultivada de igual manera en las zonas altas y frías de las regiones montañosas, donde es conocida como "papa extranjera". El tubérculo es cilíndrico y delgado con un diámetro de 20 a 40 mm, una longitud de 25 a 150 mm y una anchura de 25 mm. Diferentes estudios reportan que el tubérculo de *Oxalis tuberosa* posee un alto contenido nutritivo, siendo el almidón su mayor componente (60% en peso seco), aunque también es fuente de proteínas (1.1% peso húmedo) y fibra dietaria (1.1% peso húmedo), ésta última conformada por cadenas de fructooligosacáridos^[2]. Dentro de las funcionalidades de la *Oxalis tuberosa* se encuentra su actividad antioxidante y su actividad promotora de la digestión, debido principalmente a su contenido de fibra^[1]. Existen diversos trabajos de investigación relacionados con el almidón de papa de extranjera, incluyendo métodos de extracción, modificaciones químicas y físicas, así como algunas de sus funcionalidades^[3,4]. Por ejemplo, se ha reportado el uso de harina de *Oxalis tuberosa* como sustituto de harinas en la elaboración de pan estilo inglés sin gluten, observándose que un 13.2% de harina de *Oxalis tuberosa* mejora significativamente las propiedades reológicas

del producto, disminuye el índice glicémico y posee una mayor preferencia sensorial en comparación harinas de otros tubérculos (papa y tapioca)^[4]. Similarmente, se ha observado que el uso de la *Oxalis tuberosa* es una alternativa para generar productos de panificación sin gluten, a la vez que no se modifican significativamente las propiedades sensoriales de un pan hecho en su totalidad con harina de trigo. Esto hallazgos abren un nuevo nicho de investigación hacia el uso de sustitutos naturales para la harina de trigo en la elaboración de productos potencialmente funcionales^[5].

Por otro lado, la fibra dietaria puede ser clasificada como insoluble y soluble. La fibra soluble, una vez consumida, puede ser metabolizada y aprovechada casi en su totalidad dentro del colon, promoviendo el crecimiento de probióticos dentro del microbiota intestinal, inhibe el transporte de lípidos, colabora en el control de enfermedades cardiovasculares y posee actividad antioxidante (capacidad de eliminación de radicales libres)^[6,7]. Adicionalmente, estudios han señalado que este tipo de fibras pueden ser utilizadas como ingredientes sustitutos de grasas en la formulación de productos como helados, embutidos y alimentos de panificación, en los cuales su adición incrementa favorablemente sus propiedades sensoriales y aumenta sus propiedades funcionales^[8,9]. Sin embargo, la recurrencia de estos beneficios y efectos fisiológicos son difíciles de predecir una vez que las fibras son adicionadas como parte de la formulación de un alimento. Para solucionar este problema, el análisis de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales surge como una de las principales herramientas para predecir la funcionalidad de las fibras una vez que son adicionadas a los productos alimenticios^[10]. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar las propiedades de fisicoquímicas y funcionales de fibra de la papa extrajera (*Oxalis tuberosa*), como parte de su caracterización como ingrediente funcional de origen natural con potencial aplicación en la elaboración de productos alimenticios saludables.

Metodología

Obtención de la materia prima

La papa extranjera (*Oxalis tuberosa*) utilizada en el presente trabajo fue obtenida de un mercado local en la comunidad de Soledad Atzompa, Veracruz, México; en el periodo de Enero-Febrero, 2022. Una vez en el laboratorio, la papa fue sumergida en una solución de hipoclorito de sodio (0.5% v/v) y enjuagada con agua potable hasta retirar todas las impurezas. Entonces, la papa fue secada al aire y posteriormente cortada en cubos con medidas de 2 cm aproximadamente. La papa trozeada fue mezclada con agua destilada en una relación 1:2 (p: v) para después someterse a una molienda con ayuda de en un molino de aspas (SANYTARY, mod. LS12VP, México) durante 4 min a máxima potencia. La suspensión resultante se filtró utilizando una manta y fue exprimida hasta retirar la mayor cantidad de agua posible. Los sólidos obtenidos fueron sometidos nuevamente al proceso de molienda bajo las mismas condiciones. Los sólidos fueron entonces secados a 40 °C por 48 h en una estufa de aire. Una vez secos, los sólidos fueron molidos durante 4 min más y entonces el tamaño de partícula fue homogenizado a través de un tamizado con una malla de 250 µm. La fibra molida y tamizada fue almacenada al vacío a 25 °C en bolsas plásticas hasta su análisis.

Evaluación de las propiedades fisicoquímicas

Propiedades de flujo

Se evaluaron las propiedades de flujo de densidad a granel, densidad compactada, índice de Hausner y ángulo de reposo en la fibra obtenida anteriormente, siguiendo las metodologías descritas previamente por Goh et al.^[11]. Los resultados fueron expresados de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Densidad a granel (g/mL)} = \frac{M(\text{g de fibra})}{V(\text{mL ocupado})} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Densidad compactada (g/mL)} = \frac{M(\text{g de fibra})}{v(\text{mL ocupado despues de compactar})} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Índice de Hausner} = \frac{\text{Densidad compactada}}{\text{Densidad a granel}} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\text{Ángulo de reposo } (\text{°}) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Radio del cono (cm)}} \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Por otro lado, también se evaluó la densidad de partícula de acuerdo con la metodología propuesta por Premi y Sharma^[12]. Inicialmente se colocó 1 g de fibra un matraz aforado de 25 mL. Con ayuda de una bureta se afora con tolueno y se registra el volumen gastado. La densidad de partícula se calculó con ayuda de la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad de partícula } \left(\frac{\text{g}}{\text{mL}} \right) = \frac{\text{g de fibra}}{V_f - V_i} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde: V_f es el volumen del matraz y V_i es el volumen de tolueno gastado

La compresibilidad o Índice de Carr, fue calculado con la siguiente ecuación^[13]:

$$\text{Índice de Carr} = \frac{\text{Densidad compactada} - \text{Densidad a granel}}{\text{Densidad compactada}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Evaluación de las propiedades fisicoquímicas

Capacidad de retención de agua (WRC) y Capacidad de retención de aceite (ORC)

La WRC y ORC fueron evaluadas siguiendo la metodología descrita por Zhang^[14] y calculadas con las siguientes ecuaciones:

$$WRC = \frac{M1 - M2}{M2} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$ORC = \frac{M1 - M2}{M2} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde: M1 es el peso de la muestra y M2 es el peso de la muestra después de la absorción de agua o aceite.

Capacidad de hinchamiento (CH)

Se colocaron 3 g de la muestra de fibra en un matraz graduado y se agregó agua en una porción 1:30 (p/v). Posteriormente se mezcló vigorosamente y se incubó 20 h a 25 °C. Al final se registró el volumen de agua y se calculó la capacidad de hinchamiento con base en la siguiente ecuación^[15]:

$$CH = \frac{V1 - V2}{V1} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde: V1 es el volumen ocupado por la muestra seca y V2 es el volumen ocupado por la muestra húmeda.

Higroscopicidad

La higroscopicidad de la fibra se evaluó siguiendo la metodología propuesta por Agustini^[16], con algunas modificaciones. Se colocaron 2 g de muestra en un recipiente equilibrado con una solución saturada de NaCl (0.75 humedad relativa). Al final de 7 días la muestra fue pesada y la higroscopicidad se expresó como g de humedad por 100 g de sólidos secos.

Análisis estadístico

Todos los análisis de las propiedades de flujo y de las propiedades funcionales de la fibra de *Oxalis tuberosa* se realizaron por triplicado, y el tanto el promedio de los triplicados como la desviación estándar fueron calculados utilizando el software Excel versión 16.64 (Microsoft, EUA, 2022), con el cual fueron calculado dichos parámetros utilizando las fórmulas precargadas en las hojas de cálculo. En las tablas siguientes se muestran entonces, el promedio de las repeticiones de cada uno de los análisis \pm la desviación estándar de los datos obtenidos.

Resultados y Discusión

La papa extranjera (*Oxalis tuberosa*) es un tubérculo cuya temporada de cosecha se centra en los meses de noviembre a febrero, es decir, aquellos meses donde las temperaturas tienden a ser las más frías del año. Su cultivo se lleva a cabo en las regiones boscosas, principalmente en las regiones que delimitan los estados de Veracruz y Puebla. En esa temporada se puede localizar en diversos mercados locales donde su color rojo intenso indica su estado óptimo de maduración. Para efectos de este estudio, al adquirir la materia prima, se eligió aquella papa que tuviera el color característico, que no mostrara algún daño mecánico o microbiológico y que estuviera firme al tacto, dichas características se pueden observar en la Figura 1.



Figura 1. Papa extranjera (*Oxalis tuberosa*) lavada y seca.

Propiedades de flujo

Conforme a los resultados obtenidos, la densidad a granel tuvo un resultado de 0.5053 g/mL y la densidad compactada un resultado de 0.55 g/mL, este dato varió conforme a la información obtenida por Santamaría^[17], pues mostró que su polvo tiene una densidad de 0.68 g/mL aproximadamente; esto puede ser debido a que maneja polvo compactado para hacer gránulos, sin embargo en otro reporte de densidad a granel y densidad compactada es comparada con productos comerciales^[18], entre ellos estabilizantes, por lo que cuentan con cierta similitud con nuestros resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos de las propiedades de flujo se muestran en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades de flujo de la fibra de papa extranjera (*Oxalis tuberosa*).

Propiedades	Promedio±DS
Densidad a granel (g/mL)	0.5053 ± 0.004
Densidad compactada (g/mL)	0.55 ± 0.02
Índice de Hausner	1.08 ± 0.03
Índice de Carr (Compresibilidad) (%)	80.35 ± 2.6306
Densidad de partícula (g/mL)	1.34 ± 0.085
Ángulo de reposo (°)	27.22 ± 0.4666

DS: Desviación Estándar

Para el índice de Carr se obtuvo un valor no aceptable para la compresibilidad de la fibra, esto debido a que los valores obtenidos no concuerdan con los reportados por Acosta^[19], quienes indicaron que el índice de Carr es aceptable entre los valores 10-25, por lo que nuestro resultado no se encuentra en dichos estándares. Pero, para el índice de Hausner, citados por el mismo autor, indica que es aceptable, comparándolo con gránulos que tiene relación con la fluidez del polvo, catalogándolo como una propiedad excelente. El ángulo de reposo se encuentra en un estado excelente, lo anterior basado en la clasificación propuesta por Santamaría^[17], debido a que sus resultados, correspondientes a 10 muestras de fibra, fueron clasificados de la misma manera bajo un excelente ángulo entre los valores de 25–30. Los resultados para las propiedades funcionales de la fibra se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1. Valores de las propiedades funcionales del polvo de la papa extranjera (*Oxalis tuberosa*).

Propiedad	Promedio ± DS
Capacidad de retención de agua	4.7151 ± 0.364
Capacidad de hinchamiento	2.0111 ± 0.183
Capacidad de retención de aceite	2.1956 ± 0.573
Higroscopicidad	0.0685 ± 0.0082

DS: Desviación Estándar

Para los resultados de retención de agua se presentó un valor de 4.7151, superior al reportado por Serna et al.^[20], quienes observaron valores de 0.410 en un alimento modelo pulverizado, en este caso, cáscaras de mango deshidratadas con alto contenido de fibra. Por otro lado, también se ha reportado que al añadir inulina y pectina se puede observar una mejora la WRC, si se necesitase una mayor capacidad de formar geles o emulsiones a partir de la fibra de *Oxalis tuberosa*^[21]. De igual manera, se comparó con los resultados de retención de aceite con cereales comerciales, que incluso tiene una mejor ORC.

Los resultados de la CH permiten inferir que la fibra de *Oxalis tuberosa* posee propiedades de hidratación y flotación deseables desde el punto de vista funcional, ya que muestra una potencial capacidad de absorber agua dentro de su matriz sin comprometer su densidad, tal y como lo hacen algunas de las fibras dietarias, cuyo principal aporte funcional es colaborar en la descontimpación intestinal a través de la formación de esta especie de geles menos densos que el agua^[6]. Este tipo de propiedades funcionales ha sido reportado en el desarrollo de algunos fármacos en donde resultados similares a los obtenidos con la fibra de *Oxalis tuberosa* aseguran un mayor efecto durante la ingesta controlada^[17]. Así mismo, este tipo de propiedades están relacionadas con su higroscopicidad, la cual ofrece la posibilidad de determinar la velocidad de reacción en cuanto a la facilidad con que la fibra absorbe agua del ambiente, lo cual influye en su reactividad dentro de sistemas biológicos con alto contenido de agua, como lo es el cuerpo humano^[15].

Trabajo a futuro

Con base en los resultados obtenidos, se tiene planeado seguir trabajando a mediano plazo en la adición de la fibra de la “papa extranjera” (*Oxalis tuberosa*) dentro de alimentos modelos para evaluar las propiedades tecnológicas de la fibra explorando con mayor profundidad su funcionalidad ahora en estudios *in vivo*, principalmente en modelos animales alimentados con los productos alimenticios adicionados con la fibra. Mientras que, a largo plazo, se planea el diseño y desarrollo de estudios clínicos de la fibra en una población determinada, analizando diferentes efectos benéficos a la salud derivados del consumo recurrente y controlado de la fibra de *Oxalis tuberosa*.

Conclusiones

Anteriormente se ha demostrado que la fibra de la papa extranjera (*Oxalis tuberosa*), rica en almidón posee propiedades tecnológicas deseables, principalmente en la sustitución de otro tipo de harinas, como al de trigo, dentro del proceso de panificación, ofreciendo así alimentos funcionales. Sin embargo, este tubérculo, es también rico en fibra la cual, de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, poseen un flujo excelente con base en sus valores de índice de Hausner y ángulo de reposo. Estas propiedades de flujo permiten predecir el comportamiento de la fibra durante su almacenamiento, es decir, son útiles para el diseño y aplicación de mejores condiciones para el almacenamiento de la fibra garantizando la conservación de su composición al igual que sus potenciales propiedades funcionales. En este sentido, al evaluar la WRC y la ORC podemos concluir que la fibra de *Oxalis tuberosa* se postula como un potencial alimento funcional capaz de interactuar con el agua, absorber lo suficiente como para formar geles poco densos, que en un sistema digestivo humano pueden colaborar con la absorción y eliminación de residuos oleosos al mismo tiempo que puede ser capaz de viajar a través del tracto intestinal, promoviendo el buen funcionamiento del intestino, evitando constipación y una correcta eliminación del bolo fecal. Por lo tanto, se concluye que la fibra de *Oxalis tuberosa* puede ser considerada como fibra dietaria con potenciales efectos benéficos para el consumidor. Sin embargo, es necesario seguir investigando en cuanto a su comportamiento bajo condiciones gastrointestinales *in vitro*, su eficacia e inocuidad en sistemas *in vivo*, para finalmente corroborar y evaluar sus efectos benéficos en estudios clínicos controlados.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Veracruzana, específicamente a la Facultad de Ciencias Químicas de la Región Córdoba-Orizaba, por todas las facilidades otorgadas para la elaboración del presente trabajo. De igual manera se agradece la participación los investigadores pertenecientes el Cuerpo Académico en Formación CA UV 522-Ingeniería y Biotecnología de Alimentos, por el apoyo y asesoría durante el desarrollo experimental del presente trabajo.

Referencias

- [1] F. Zhu y R. Cui, “Comparison of physicochemical properties of oca (*Oxalis tuberosa*) potato, and maize starches”, *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 148, pp. 601-607, 2020.
- [2] J. Puelles-Roman, N.G. Barroso, J.P. Cruz-Tirado, D.R. Tapia-Blácido, L. Angelats-Silva, G. Barraza-Jáuregui, y R. Siche, “Annealing process improves the physical, functional, thermal and rheological properties of Andean oca (*Oxalis tuberosa*) starch”, *Journal of Food Process Engineering*, vol. 44, artículo e13702, 2021.
- [3] M.P. Castro-Mendoza, H.M. Palma-Rodriguez, E. Heredia-Olea, J.P. Hernández-Urbe, E.O. López-Villegas, S.O. Serna-Saldivar, A. Vargas-Torres, “Characterization of a mixture of oca (*Oxalis tuberosa*) and oat extruded flours: antioxidant and physicochemical attributes”, *Journal of Food Quality*, vol. 2019, artículo 1238562, 2019.
- [4] R.G. Campos-Montiel, M. Vicente-Flores, J.J. Chanona-Pérez, S.O. Espino-Manzano, M.J. y González de los Montero-Sierra, “Physicochemical, rheological and sensory characterization of a gluten-free English

- bread added with *Oxalis tuberosa* flor”, *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 20, no. 3, artículo Alim2572, 2021.
- [5] N. Guemes Vera, S.O. Espino Manzano, H.M. Hernandez Hernandez, “Use of *Oxalis tuberosa* in gluten-free baked goods manufacture”, En *Alternative and Replacement Foods*, Academic Press, pp. 167-175. 2018.
- [6] X. Du, L. Wang, X. Huang, H. Jing, X. Ye, W. Gao, X. Bai, y H. Wang, “Effects of different extraction methods on structure and properties of soluble dietary fiber from defatted coconut flour”, *LWT*, vol. 143, artículo 111031, 2021.
- [7] A. Peredo-Lovillo, H.E. Romero-Luna, y M. Jiménez-Fernández, “Health promoting microbial metabolites produced by gut microbiota after prebiotics metabolism”, *Food Research International*, vol. 136, artículo 109473, 2020.
- [8] Y. Niu, H.C. Fang, T.Y. Huo, X.J. Sun, Q. Gong, y L.L. Yu, “A novel fat replacer composed by gelatin and soluble dietary fibers from black bean coats with its applications in meatballs”, *LWT-Food Science and Technology*, vol. 122, artículo 109000, 2020.
- [9] Y. Niu, N. Li, Q. Xia, Y. Hou, y G. Xu, “Comparison of three modifications on structural, rheological and functional properties of soluble dietary fibers from tomato peels”, *LWT-Food Science and Technology*, vol. 88, pp. 56-63, 2018.
- [10] G.A. Nevara, S.K.S. Muhammad, N. Zawawi, N.A. Mustapha, y R. Karim, “Dietary Fiber: Fractionation, Characterization and Potential Sources from Defatted Oilseeds”, *Foods*, vol. 10, artículo 754, 2021.
- [11] H.P. Goh, P.W.S. Heng, y C.V. Liew, “Comparative evaluation of powder flow properties parameters with reference to particle size and shape”, *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 547, pp. 133-141, 2018.
- [12] M. Premi, y H.K. Sharma, “Effect of different combinations of maltodextrin, gum arabic and whey protein concentrate on the encapsulation behaviour and oxidative stability of spray dried drumstick (*Moringa olifera*) oil”, *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 105, pp. 1232-1240, 2017.
- [13] S. Naji-Tabasi, B. Emadzadeh, M. Shahidi-Noghabi, M. Abbaspour, y E. Akbari, “Physico-chemical and antioxidant properties of barberry juice powder and its effervescent tablets”, *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, vol. 8, artículo 23, 2021.
- [14] W. Zhang, G. Zeng, Y. Pan, W. Chen, W. Huang, H. Chen, y Y. Li, “Properties of soluble dietary fiber polysaccharide from papaya peel obtained through alkaline or ultrasound assisted alkaline extraction”, *Carbohydrate Polymers*, vol. 172, pp. 102-112, 2017.
- [15] Z. Zhuang, M. Chen, J. Niu, N. Qu, B. Ji, X. Duan, Z. Liu, X. Liu, Y. Wang, y B. Zhao, “The manufacturing process of kiwifruit powder with high dietary fiber and laxative effect”, *Molecules*, vol. 24, num. 21, artículo 3813, 2019.
- [16] S. Agustini, “The characterization of mango (*Mangifera indica* L) powder of various drying temperatures. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1095, artículo 012035, 2018.
- [17] K.J. Santamaría, “Formulación y caracterización de un sistema de liberación gastroflotante de tabletas clorhidrato de metformina basado en efervescencia e hinchamiento”, *Universidad autonoma de Nuevo León*, pp. 67- 89, 2018.
- [18] J. Gómez, “Caracterización granulométrica de un producto comercial en polvo (suplemento dietario) y evaluación de la capacidad de dispersión en agua” *Universidad ICESI Facultad Ciencias Naturales Gómez Arciniegas*, pp. 26-40, 2016.
- [19] J.C. Acosta (2019), “Estudio de las propiedades de flujo de sólidos pulverulentos y granulados empleados en la elaboración de formas farmacéuticas sólidas de administración oral” *Universidad de La Laguna*, pp. 10-15, 2019.
- [20] L. Serna, C. Torres, Ayala Aponte A. Evaluación de Polvos Alimentarios obtenidos de Cáscaras de Mango (*Mangifera indica*) como fuente de Ingredientes Funcionales. *Información Tecnológica*. vol. 26 pp 44- 46, 2015.
- [21] D. Zarate, Méndez Zamora G., Rivera de Alba J. A., Flores Girón E. Efecto del nopal (*Opuntia* spp.) deshidratado en polvo sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de salchichas Viena. *Universidad de Sonora, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Biotecnia*, vol. 23, núm. 2, pp 90-91, 2021.

Efecto de rayos UV en recubrimiento híbrido obtenido por sol-gel

E. E. Uicab Córdoba^{1,3}, L. L. Díaz Flores^{2*}, N. E. Hernández Morales³, A. S. López Rodríguez², R. Hernández Córdoba¹,

¹División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Km. 1, Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, C.P. 86690, Cunduacán, Tabasco, México.

²División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Km. 1, Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, C.P. 86690, Cunduacán, Tabasco, México.

³División de Química, Universidad Tecnológica de Tabasco. Km 14.6 Carretera Villahermosa-Teapa s/n. C.P. 86288, Parrilla II, Centro, Tabasco, México

*laura.diaz@ujat.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Los recubrimientos híbridos son una opción técnicamente viable, para proteger a los materiales metálicos, cerámicos o plásticos, de procesos como la corrosión, la erosión, y el desgaste, al exponerse a diferentes condiciones ambientales. En este trabajo se sintetizó y expuso a la atmósfera un recubrimiento híbrido obtenido por sol-gel en condiciones naturales de radiación ultravioleta (UV), humedad relativa de más de 70% y Temperatura ambiente promedio de 37°C, monitoreándose el comportamiento durante la exposición mediante la técnica de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier y visualmente con base en la norma de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales ASTM.D0661 Se pudo observar la pérdida de adherencia y el amarillamiento del recubrimiento híbrido Dióxido de Silicio-Polimetilmetacrilato (SiO₂-PMMA) debido a la degradación del polímero PMMA. Los cambios en la morfología de la película fueron analizados con microscopía electrónica de barrido.

Palabras clave: Radiación, FTIR, recubrimientos, sol-gel,

Abstract (150 words at most, Arial 10)

Hybrid coatings are a technically viable option to protect metallic, ceramic or plastic materials from processes such as corrosion, erosion and wear, when exposed to different environmental conditions. In this work, a hybrid coating obtained by sol-gel was synthesized and exposed to the atmosphere under natural conditions of ultraviolet (UV) radiation, relative humidity of more than 70% and average ambient temperature of 37°C, monitoring the behavior during exposure using the technique Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and visually based on the American Society for Testing and Materials (ASTM) standard. Loss of adhesion and yellowing of the hybrid silicon dioxide-polymethylmethacrylate (SiO₂-PMMA) coating due to degradation of the PMMA polymer could be observed. Changes in film morphology were analyzed with scanning electron microscopy (SEM).

Key words: Irradiation, FTIR, coatings, sol-gel

Introducción

La decoloración, el amarillamiento, la pérdida de propiedades y cambios fotoinducidos como microgrietas son algunos de los efectos que se pueden generar en los materiales poliméricos que son afectados por la radiación solar, afectando en algunas de las propiedades mecánicas y físicas [1, 2]. En el caso de los recubrimientos, estos materiales son expuestos a condiciones ambientales extremas como la radiación UV, altas temperaturas y por ende calentamiento de los sustratos donde están depositados. Sumando las condiciones de humedad del ambiente, la lluvia, el rocío, niebla o lluvia ácida generada por la combinación de contaminantes ambientales como los óxidos de azufre con la humedad del aire, todos estos factores generan procesos de desgaste,

absorción de agua, agrietamientos y corrosión [3]. Los recubrimientos híbridos, son materiales que se obtienen combinando materiales orgánicos e inorgánicos, los cuales muchas veces requieren de compuestos que permitan esta unión fungiendo como materiales de acople entre ambas partes. Al desarrollar recubrimientos híbridos pro sol-gel, se espera obtener materiales con mejores propiedades anticorrosivas, con características específicas a bajas temperaturas, con una escasa o nula producción de residuos. Con la ventaja de que el método sol-gel parte de una solución de menos de 5 cP de viscosidad, la cual al transformarse en gel y secarlo a temperatura ambiente o a través de un proceso térmico se obtiene un sólido [4]. En este trabajo se realizó la síntesis de un recubrimiento híbrido por el método de sol-gel usando como acoplante el 3-(Trimetoxisilil)propilmetacrilato, para unir la parte orgánica formada por el polimetilmetacrilato y la parte inorgánica de dióxido de silicio, exponiéndolo a la atmósfera del clima trópico húmedo, y monitoreando su desempeño visualmente y con técnicas de análisis estructurales y morfológicas.

Metodología

Para sintetizar el recubrimiento vía sol-gel se emplearon los reactivos precursores, 3-(Trimetoxisilil)propilmetacrilato, Metilmetacrilato, Tetraetilortosilicato (TEOS), alcohol etílico, peróxido de benzoílo (BPO), ácido nítrico (HNO_3) e hidróxido de sodio (NaOH), todos en grado analítico, y agua destilada. La obtención del dióxido de silicio, se realizó a partir de la hidrólisis del tetraetilortosilicato, y el PMMA se obtuvo de la polimerización por radicales libres del monómero metilmetacrilato (MMA). Para unir las mezclas orgánico-inorgánicas, se utilizó como agente de acople al 3-(Trimetoxisilil)propilmetacrilato, la síntesis del recubrimiento se ilustra con más detalle en el diagrama que se indica en la Figura 1 [5]. Se utilizaron parrillas de calentamiento, cardas de metal y acetona para la limpieza de las probetas metálicas, así como placas de acero al carbono, se utilizó un termohigrómetro marca TES modelo 1374 para monitorear las condiciones ambientales.

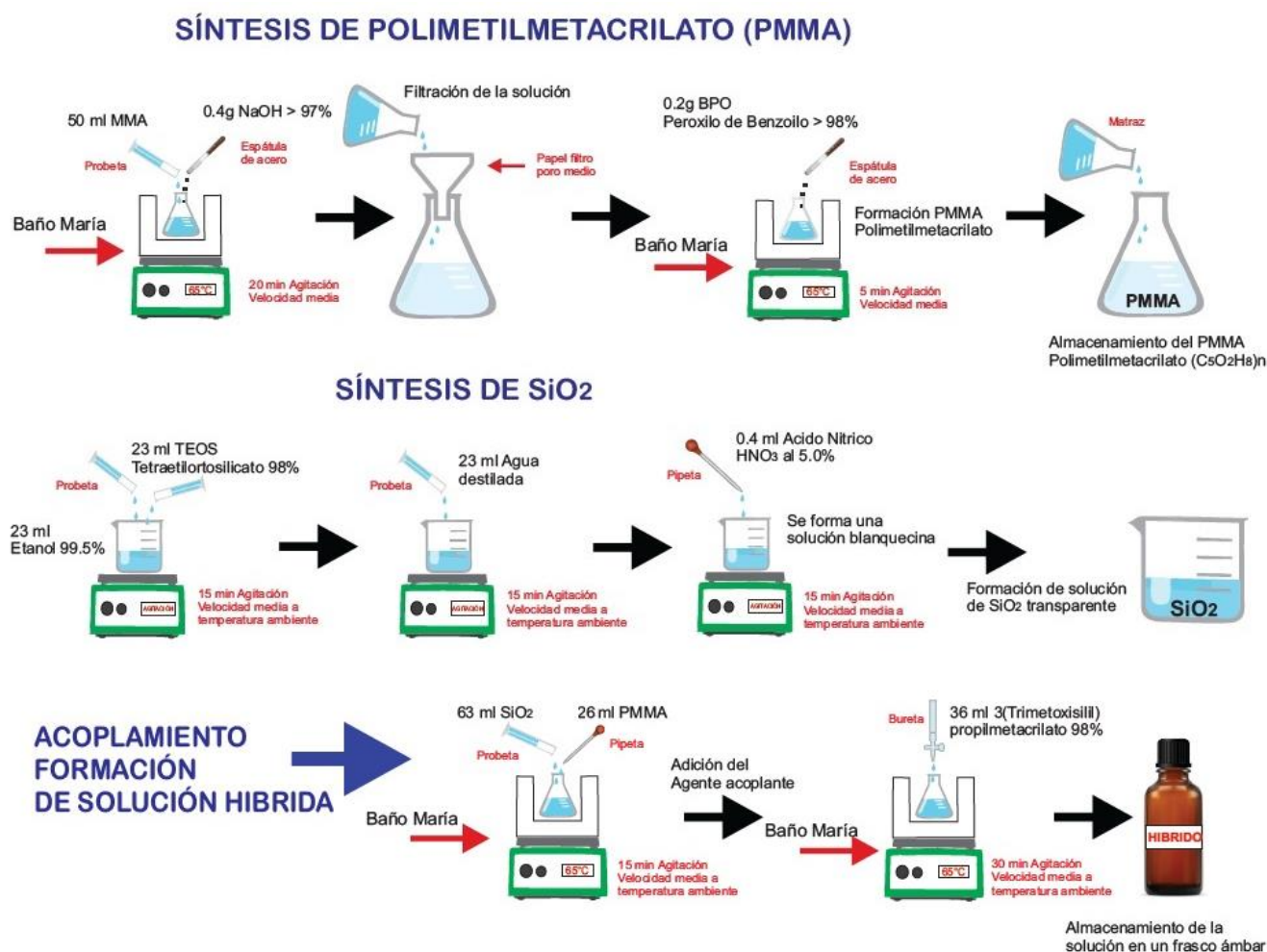


Figura 1. Síntesis por sol-gel del recubrimiento híbrido SiO_2 -PMMA

La limpieza del sustrato metálico se realizó con cardas de acero hasta obtener una superficie limpia, libre de óxidos, posterior a este proceso se aplicó acetona para limpiar y terminar de retirar polvo, grasa, o cualquier otro contaminante que pudiera existir en la superficie. Inmediatamente después se procedió a aplicar el recubrimiento mediante inmersión, para dejar secando al ambiente las placas recubiertas. La temperatura ambiente monitoreada y la humedad relativa durante la aplicación y el secado fueron de 35 °C en promedio, con una humedad relativa de 67.2 %.

Se realizó la caracterización del recubrimiento sintetizado, mediante espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) empleando un equipo IRAffinity-1 marca Shimadzu y el análisis de microscopia electrónica de barrido (SEM) y de espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (EDS, por sus siglas en inglés Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) de la morfología del recubrimiento híbrido aplicado, se realizó en un equipo marca JEOL JSM-6010LA.

Resultados y discusión

Aplicación del híbrido y exposición a UV

El acero al carbono preparado previamente fue recubierto mediante inmersión y se dejaron secar las placas recubiertas por un lapso de 48 horas. En la Figura 2, se presenta una placa recubierta con la película híbrida al inicio de la exposición al clima trópico húmedo y después de 168 h de exposición a la intemperie del material. Como se observa, el recubrimiento es un material transparente, y después de la exposición empezó a presentar coloración amarillenta, falta de adherencia y agrietamiento de la película, lo cual no permite que pueda usarse como un material anticorrosivo al presentar fracturas durante la exposición. Se monitorearon las condiciones ambientales antes durante y después de la aplicación teniendo el cuidado de no aplicar el recubrimiento ni realizar la limpieza del sustrato con humedad relativa mayor a 80%, la temperatura ambiente promedio fue de 35°C y se procuró que la aplicación fuera en un lapso menor de una hora para evitar que la superficie metálica se empezara a oxidar.

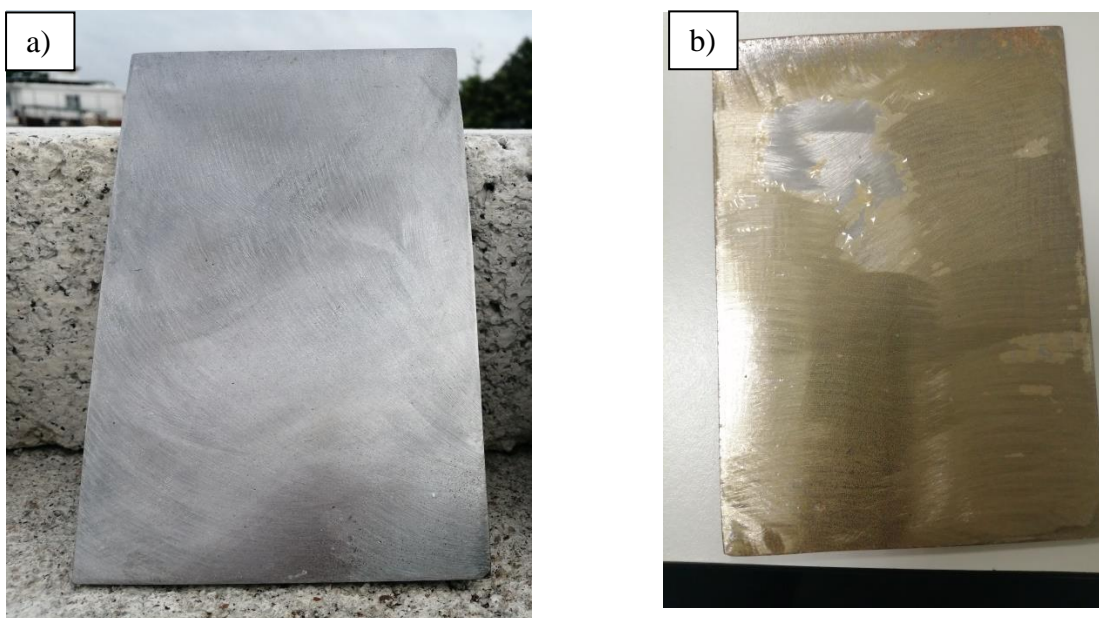


Figura 2. Placas de acero al carbono con recubrimiento híbrido al inicio y después de la exposición al ambiente

Los espectros del análisis infrarrojo del recubrimiento híbrido sin exponer y con exposición a la radiación solar, se muestran en la Figura 3, los grupos funcionales del polímero polimetilmetacrilato y del componente

inorgánico dióxido de silicio reportados en la literatura, están en el rango de 900 a 1650 cm^{-1} con sobreposición de espectros característicos de ambos precursores. En ambos híbridos se presentan las vibraciones de estiramiento del enlace C-O del grupo éster; las bandas 1082, 1254 cm^{-1} y 1385-1467 cm^{-1} se asocian a las vibraciones de flexión de estiramiento del enlace CH_3 . La vibración de estiramiento del grupo carbonilo aparece en el rango de 1707-1725 cm^{-1} ; en 2899-3000 cm^{-1} se ubican las vibraciones del estiramiento del enlace C-H correspondiente al grupo CH_2 todas ellas correspondientes al polimetilmetacrilato. En tanto las bandas observadas entre 811 - 1177 cm^{-1} , demuestran la existencia de la fase inorgánica, y corresponden a vibraciones de enlaces Si-O, Si-OH, Si-O-Si. La banda ubicada en el rango de los 3000-3700 cm^{-1} corresponde al enlace O-H [6, 7].

La diferencia entre el híbrido expuesto a radiación UV natural y el híbrido no expuesto, es evidente con una menor intensidad y mayor amplitud de las bandas ubicadas en el rango 900-1300 cm^{-1} que corresponden a las vibraciones del enlace C-O del grupo éster. En tanto en 1725 cm^{-1} también se observa la disminución de la banda del estiramiento del enlace C=O, correspondiente al grupo carbonilo. Por otro lado, la banda ubicada en el rango de 3000-3700 cm^{-1} también presenta menor intensidad pero mayor ancho, estas disminuciones de intensidad del grupo carbonilo se asocian a la escisión lateral del grupo éster [8], lo cual promueve la degradación del material híbrido como se muestra en la Figura 3.

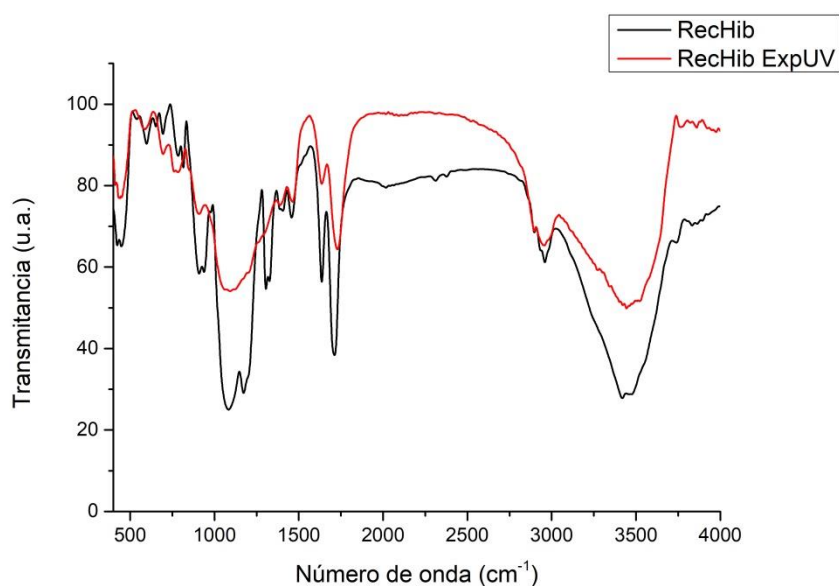


Figura 3. Espectros del recubrimiento híbrido sin exponer (a) y expuesto a radiación (b)

La morfología de la película expuesta a la radiación solar fue analizada mediante microscopía electrónica de barrido y el análisis químico por espectroscopía de energía dispersa, los resultados son mostrados en las siguientes imágenes a continuación (ver Figura 4).

Después de un periodo corto de exposición al ambiente, se observó el cambio de coloración del recubrimiento y se empezó a visualizar el agrietamiento de la película híbrida, En las Figuras 4a, 4b, 4c se muestra la distribución de los elementos químicos presentes en la película aplicada. De manera uniforme, se encuentran presentes en toda la superficie el silicio (Si), el carbono (C) y el oxígeno (O), en la Figura 4d se observa la presencia del hierro (Fe) correspondiente al sustrato metálico, debido al agrietamiento de la película híbrida (Figura 4e). De esta manera, se comprobó con el análisis estructural por FTIR, la degradación del material por la reacción del polímero debido a la exposición al sol. Este proceso se ha documentado que inicia al absorber el polímero la radiación UV, se produce una excitación, elevándose a una energía mayor que su estado normal, por lo que para disminuir esa energía se produce la escisión de la cadena lateral o principal de la cadena polimérica [9].

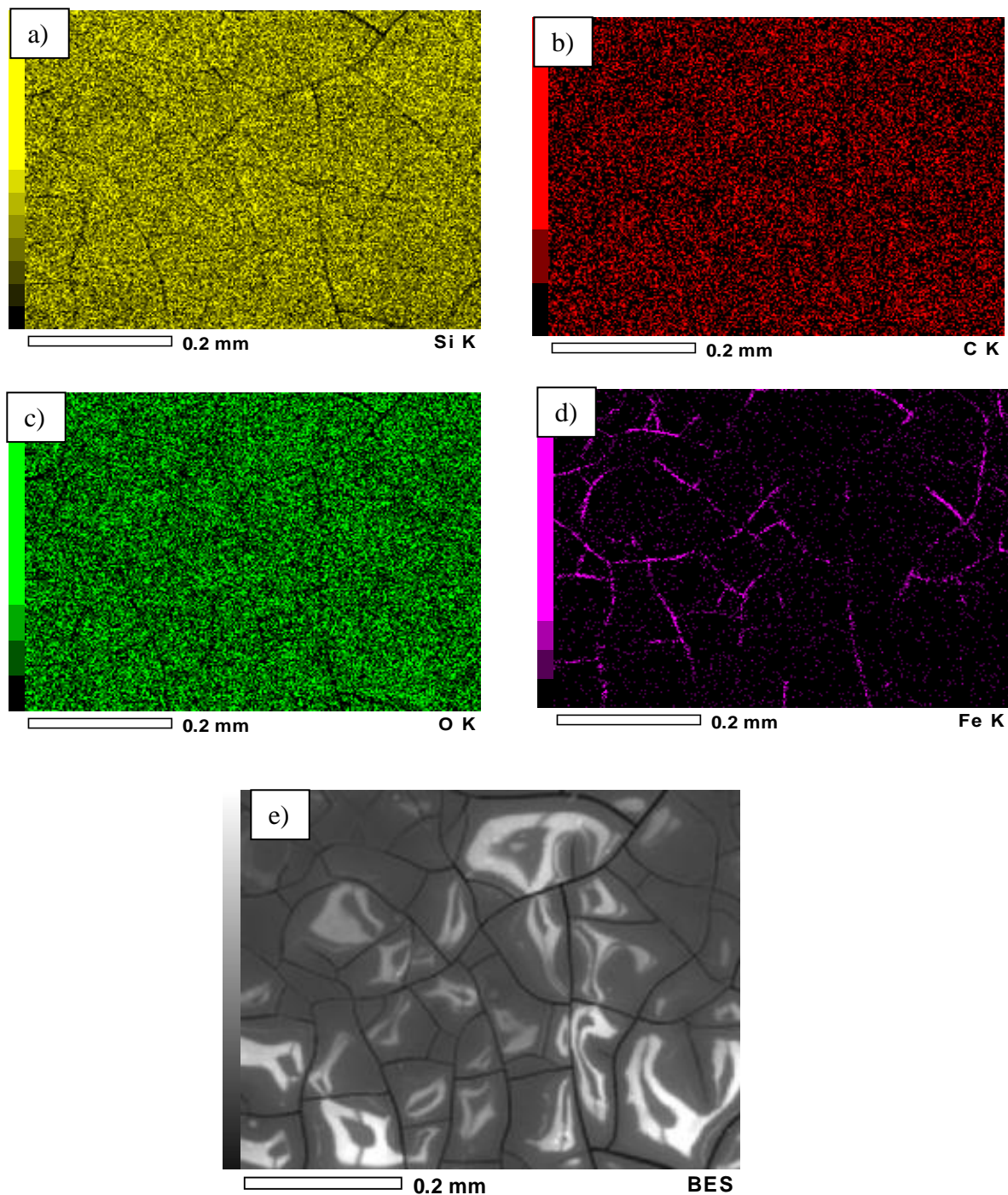


Figura 4. Micrografías del recubrimiento híbrido expuesto a la radiación solar.

Con el análisis químico elemental superficial (EDS) se determinó que la composición química del recubrimiento (Figura 5), confirmó lo reportado en la micrografía, al observarse la presencia del hierro con 1.72%. Se concluye con este análisis al sustrato metálico recubierto por el material híbrido, el contenido de los elementos que forman el recubrimiento es de 40.62% de carbono, 18.42% de silicio y oxígeno con 39.24%. Visualmente y de acuerdo con la norma ASTM D6601, se visualizó el proceso de amarillamiento y agrietamiento en la película

híbrida [10], con el consecuente desprendimiento del material debido a la falta de adherencia sustrato-recubrimiento.

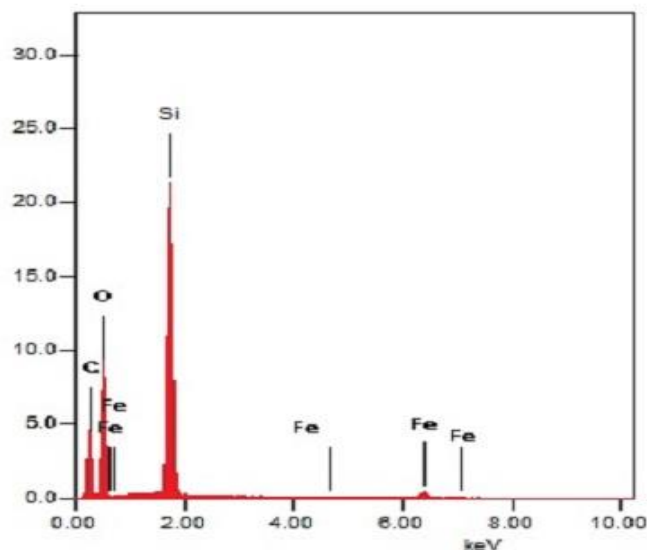


Figura 5. Análisis EDS del recubrimiento híbrido expuesto a la radiación solar

Trabajo a futuro

Se debe de concluir la caracterización del híbrido y determinar el desempeño del mismo en diferentes tipos de materiales metálicos, así como establecer su tiempo de exposición antes de degradarse debido a los efectos de la radiación ultravioleta. Mejorar la formulación del recubrimiento considerando el uso de aditivos que puedan ayudar a incrementar su resistencia a la intemperie, y disminuir los tiempos de secado de la película híbrida, son áreas de oportunidad para continuar con la investigación de este material.

Conclusiones

Se sintetizó un recubrimiento por sol-gel el cual tiene un poder cubriente sobre sustratos metálicos, la síntesis se realizó a bajas temperaturas y en un tiempo relativamente corto, si bien el desempeño al exponerlo a la radiación UV del sol no fue el esperado, es un material que tiene alto grado de transparencia y puede ser aplicado por cualquier método. Establecer el desempeño de estos nuevos materiales en condiciones naturales, es importante porque permite proporcionar soluciones viables para situaciones reales, una de las ventajas del método sol-gel es la capacidad para poder manipular la síntesis, cuando se requieren obtener propiedades específicas en un material, lo que permite en este caso poder reformular la solución híbrida obtenida para mejorar sus propiedades como material anticorrosivo en estructuras metálicas expuestas a la intemperie.

Agradecimientos

Se agradece a los encargados del laboratorio de análisis de Microscopía electrónica de barrido de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA-UJAT), y a los encargados del laboratorio de análisis especiales de la Universidad Tecnológica de Tabasco (UTTAB) por las facilidades para la realizar la síntesis del recubrimiento.

Referencias

- [1] F. Awaja, S. Zhang, M. Tripathi, A. Nikiforov, and N. Pugno, "Cracks, microcracks and fracture in polymer

- structures: Formation, detection, autonomic repair,” *Prog. Mater. Sci.*, vol. 83, pp. 536–573, 2016, doi: 10.1016/j.pmatsci.2016.07.007.
- [2] R. Shanti, A. N. Hadi, Y. S. Salim, S. Y. Chee, S. Ramesh, and K. Ramesh, “Degradation of ultra-high molecular weight poly(methyl methacrylate-co-butyl acrylate-co-acrylic acid) under ultra violet irradiation,” *RSC Adv.*, vol. 7, no. 1, pp. 112–120, 2017, doi: 10.1039/c6ra25313j.
- [3] R. Asmatulu, G. A. Mahmud, C. Hille, and H. E. Misak, “Effects of UV degradation on surface hydrophobicity, crack, and thickness of MWCNT-based nanocomposite coatings,” *Prog. Org. Coatings*, vol. 72, no. 3, pp. 553–561, 2011, doi: 10.1016/j.porgcoat.2011.06.015.
- [4] J. Gasiorek, A. Szczurek, B. Babiarczuk, J. Kaleta, W. Jones, and J. Krzak, “Functionalizable sol-gel silica coatings for corrosion mitigation,” *Materials (Basel)*, vol. 11, no. 2, pp. 1–18, 2018, doi: 10.3390/ma11020197.
- [5] J. Ceballos, L. G., Franco, J.G, Calderón, J.A., Castorena, J.H., Almaral, J.L., González,
“Recubrimientos híbridos de óxido de silicio-metacrilato de metilo-arcilla montmorilonita mediante el proceso sol-gel,” *Superf. y Vacío*, vol. 23, pp. 45–50, 2010.
- [6] L. Bergamonti *et al.*, “Weathering resistance of PMMA/SiO₂/ZrO₂ hybrid coatings for sandstone conservation,” *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 147, pp. 274–283, 2018, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2017.12.012.
- [7] J. A. Santana, S. R. Kunst, C. T. Oliveira, A. A. Bastos, M. G. S. Ferreira, and V. H. V. Sarmento, “PMMA-SiO₂ organic-inorganic hybrid coating application to Ti-6Al-4V alloy prepared through the sol-gel method,” *J. Braz. Chem. Soc.*, vol. 31, no. 2, pp. 409–420, 2020, doi: 10.21577/0103-5053.20190198.
- [8] A. D. Berdie, A. A. Berdie, and S. Jitian, “The degradation of thin poly(methyl methacrylate) films subjected to different destructive treatments,” *J. Polym. Res.*, vol. 28, no. 2, 2021, doi: 10.1007/s10965-020-02390-0.
- [9] K. G. D. C. Monsorens, A. O. Da Silva, S. De Sant’Ana Oliveira, J. G. P. Rodrigues, and R. P. Weber, “Influence of ultraviolet radiation on polymethylmethacrylate (PMMA),” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 8, no. 5, pp. 3713–3718, 2019, doi: 10.1016/j.jmrt.2019.06.023.
- [10] S. T. Method, “Standard Test Method for Evaluating Degree of Checking of Exterior Paints 1,” *Current*, vol. 93, no. Reapproved, pp. 1–9, 2000.

Análisis de actividad antimicrobiana de iones de cobre sobre frutos y alimentos marinos

C.L. DE LA ROSA JUARÉZ¹, E. QUINTANA RODRÍGUEZ¹, D. ORONA-TAMAYO¹, M.A. SILVA GOUJON¹,
N.E. LOZOYA-PÉREZ^{1*}.

¹Departamento de soluciones tecnológicas y de investigación, Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, A.C. (CIATEC), León, Gto., México. cdelarosa@ciatec.mx; equintana@ciatec.mx; dorona@ciatec.mx; msilva@ciatec.mx; nelppat@hotmail.com*

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En la actualidad los productos agrícolas, así como pescados y mariscos son altamente perecederos y pueden sufrir en poco tiempo procesos de putrefacción o enmohecimiento, haciéndolos inadecuados para el consumo. Bacterias y hongos afectan en el proceso de cultivo, cosecha, post-cosecha, transportación y vida de anaquel produciendo podredumbre, degradación, pérdida o cambio de sabor, malos olores y pérdida de propiedades nutrimentales, entre otras. Todo esto conduce a desechar del producto y por consiguiente pérdidas económicas. La actividad antimicrobiana de iones de cobre fue investigada sobre frutos de fresa analizando el efecto en la población microbiana natural de los frutos. Además, se analizó la actividad antimicrobiana sobre la bacteria *Vibrio cholerae*.

Palabras clave: Antimicrobiano, Cobre, Frutos, Mariscos.

Abstract

Agriculture products, as well as fish and seafood, are highly perishable and can undergo putrefaction or moldy processes in a short time, making them unsuitable for consumption.

Food is affected by bacteria and fungi during the growing, harvesting, post-harvest, transportation, and shelf-life processes, which cause rotting, degradation, loss or change of flavor, bad odors and loss of nutritional properties, among others. All this leads to discarding of the product and consequently the economic loss of the producer, distributor, and trader. On the other hand, contaminated fish and shellfish can cause diseases if consumed in poor condition. Therefore, it is necessary to search for biocides that allow the control of these products and at the same time are not toxic.

Key words: Antimicrobial, Copper, Fruits, Seafood.

Introducción

En la actualidad los productos agrícolas, así como pescados y mariscos son altamente perecederos y pueden sufrir en poco tiempo procesos de putrefacción o enmohecimiento haciéndolos inadecuados para el consumo. Los alimentos sufren afecciones por bacterias y hongos en el proceso de cultivo, cosecha, post-cosecha, transportación y tiempo de anaquel, los cuales producen podredumbre, degradación, pérdida o cambio de sabor, malos olores y pérdida de propiedades nutrimentales entre otros. Todo esto conduce a desechar el producto y por consiguiente la pérdida económica del productor, del distribuidor y del comerciante. Por otro lado, pescados y mariscos contaminados pueden provocar enfermedades si se consumen en mal estado. Por lo cual, es necesario la búsqueda de biocidas que permiten el control de estos productos y que a su vez no sean tóxicos [1,2,3].

El ion cobre solo o en complejos, se ha utilizado desde hace tiempo como desinfectante en sólidos y líquidos [4]. Tiene propiedades alguicida, fungicida, nematocida, molusquicida, antibacteriano y en últimos estudios se ha

descrito actividad antiviral [5]. La mayoría de las enfermedades transmitidas por alimentos son causadas por *Vibrio cholerae*, algunas especies se asocian principalmente con enfermedades gastrointestinales. La mayoría de los países tiene directrices para detectar *V. cholerae* O1 y O139 en los mariscos, por lo cual el análisis microbiológico de rutina de los pescados y mariscos es muy importante. *V. cholerae* O1 y O139 son los agentes causantes del cólera [6], una enfermedad transmitida por alimentos principalmente marinos con potencial epidémico y pandémico ocasionando grandes infecciones y hospitalizaciones. Por lo cual, los iones de cobre podrían ser un importante agente desinfectante de estos productos.

Por otro lado, se pretende evaluar la capacidad bactericida en frutos de fresa con la finalidad de aumentar el tiempo de anaquel de este producto regional susceptible a diversas contaminaciones post-cosecha que merman su exportación. El cobre promete ser un efectivo antimicrobiano y desinfectante por su capacidad para penetrar en las paredes celulares de los microorganismos, se sugiere que los iones de cobre potencialmente podrían sustituir iones esenciales para el metabolismo bacteriano inhibiendo el funcionamiento correcto de este.

En estudios previos en conjunto con la empresa CUPRION 22 S.A. de C.V. productora de la solución desinfectante de iones cobre, se determinó la capacidad antimicrobiana del cobre y la concentración más efectiva para bacterias y hongos. Se encontró que la aplicación de iones de Cobre en solución acuosa y en concentraciones de 1500 ppm (1.5 % Cu²⁺), ha demostrado ser eficaz para eliminar microorganismos que alteran la vida útil de los productos altamente perecederos eliminando bacterias propias de la putrefacción o enmohecimiento.

En este trabajo se evaluó la actividad antimicrobiana con tecnología de iones de cobre en frutos de fresa con la finalidad de aumentar su vida de anaquel analizando su efecto en la población microbiana presente de manera natural en los frutos. También se analizó específicamente el crecimiento de la bacteria *V. cholerae* en productos marinos analizados, resultando ser un desinfectante efectivo para el control de la bacteria, lo cual permitirá reducir infecciones ocasionadas por el consumo de estos productos.

Metodología

Material

La solución de iones de Cobre fue proporcionada por la empresa Cuprion22 S.A. de C.V. Los frutos de fresa y los alimentos marinos (mejillón) fueron adquiridos en locales comerciales.

Quantificación de bacterias y hongos totales en frutos de fresa

Los frutos de Fresas fueron seleccionados sin heridas ni infecciones visibles, con tamaño y color uniforme. Se pesaron 300g de muestra y posteriormente fueron sumergidos durante 5 minutos en las siguientes soluciones: Agua y solución de iones de Cu (0.15%, 0.2%). Como control positivo de desinfección, se utilizó un producto comercial hecho a base de plata coloidal, la desinfección se realizó siguiendo las instrucciones del fabricante (5.3 mL/L, 10 min). Como control se utilizaron frutos sin ningún tratamiento. Se pesaron 10 g de muestra post-tratamiento y se adicionó agua estéril hasta un volumen final de 10mL, posteriormente se licuaron y se realizaron diluciones de 1:10 y 1:100. Para cuantificación de bacterias las diluciones fueron sembradas en placas con agar nutritivo, se incubaron a 37C y se monitoreo crecimiento 24 horas después. Para la Cuantificación de hongos las diluciones anteriores se sembraron en placas con medio PDA+ ampicilina(100µg/mL), se incubaron a 28C y se monitoreo crecimiento hasta las 72 horas.

Quantificación de bacterias y hongos totales en mejillones

Los mejillones fueron descongelados y se retiró el líquido resultante, se pesaron 200 g de muestra y posteriormente fueron sumergidos durante 5 minutos en las siguientes soluciones: Agua y solución de iones de Cu (0.15%, 0.2%). Como control positivo de desinfección, se utilizó un producto comercial hecho a base de plata coloidal, la desinfección se realizó siguiendo las instrucciones del fabricante (5.3 mL/L, 10 min). Como control se utilizaron mejillones sin ningún tratamiento.

Los mejillones fueron separados en dos muestras: carne y concha. La carne fue licuada adicionando agua estéril para un volumen final de 10 mL. A La concha se le realizó un isopado. Posteriormente se hicieron diluciones 1:10 y 1:100 de ambas muestras, las diluciones fueron sembradas en placas con agar nutritivo, se incubaron a 37C y se monitoreo crecimiento 24 horas para cuantificación de bacterias. Para la cuantificación de hongos, se

sembraron en placas de PDA+ ampicilina(100µg/mL), se incubaron a 28C y se monitoreo crecimiento hasta las 72 horas. Una vez transcurrido el tiempo de incubación se contaron las colonias crecidas en los diferentes medios de cultivo y se realizó el cálculo de unidades formadoras de colonias (UFC).

Vida de anaquel en frutos de fresa después de tratamiento con Cu⁺

Los frutos de fresa post-tratamiento, se colocaron en recipientes plásticos, en refrigeración (8C) y se monitorearon diariamente durante 15 días para detectar presencia de patógenos y ablandamiento de los frutos.

Identificación molecular de *V. cholerae* en alimentos marinos

Se tomaron 0.5 g de las muestras post-tratamiento de mejillón que fueron licuadas para el análisis de UFC, estas se procesaron para obtener DNA genómico. Se adicionaron 500 µL de regulador de lisis (SDS, 1%; EDTA, 50 mM, Tris pH 8.0, 100 mM, 8 µL proteinasa K 20mg/mL) y posteriormente se rompieron las células mecánicamente y se procedió a la obtención del DNA por protocolo Fenol/cloroformo [7]. El DNA se resuspendió en 200 µL de agua DEPC. Los DNA genómicos obtenidos se observaron en gel de agarosa 1%, y fueron cuantificados en el equipo Multiskan SkyHigh®.

Para realizar la reacción en cadena de la polimerasa se requirió de: 200 ngµL⁻¹ del DNA aislado, 15 pg µL⁻¹ de los oligonucleótidos específicos directo 16S: 5´ TCTGAGACAGGTGCTGCATG 3´ y reverso 16S 5´ GCTTCTTTTGCAGCCCACTC 3´, 2.5 µL de amortiguador 10X DreamTaq (MgCl₂ 20mM), 1 µL de deoxinucleótidos trifosfatos (dNTPs) 2.5 mM, y 0.2 µL de la enzima (DreamTaq 5U µL⁻¹), la reacción se llevó a un volumen final de 25µL con agua libre de DNasa y Rnasa.

Resultados y discusión

Cuantificación de bacterias y hongos totales en fruto de fresa

Una vez realizada la desinfección se tomaron 30 g de muestra para realizar el conteo microbiano, las fresas restantes se guardaron en refrigeración, evaluándose diariamente por inspección visual para la determinación de vida de anaquel. Se realizó otro conteo microbiano a la primera aparición de crecimiento de hongos en las fresas a los 7 días. En la Figura 1, se puede observar que las UFC para la evaluación de actividad antibacteriana después del tratamiento son mayores en los tratamientos control, agua y con plata coloidal (en promedio 2000 UFC) comparado con los tratamientos de iones de cobre que encuentran entre 70 y 10 UFC para 0.15% y 2% de Cu⁺ respectivamente, teniendo un 99.5% de eficacia para eliminar bacterias en frutos de fresa. En cuanto a la evaluación antifúngica no hay diferencias significativas en las UFCs, a pesar de que los tratamientos control, agua y solución 0.15% de Cu⁺ presentan mayor cantidad de colonias, que los tratamientos de plata coloidal y 0.2% de Cu⁺ a los 0 días.

Se inspeccionaron diariamente los diferentes tratamientos y al día 7 post-tratamiento se observó la aparición de colonias fúngicas sobre algunos frutos, por lo que se evaluó nuevamente UFC. En el caso de bacterias se observaron en promedio 100 UFC para control, agua y plata coloidal. En cuanto a los tratamientos con iones de cobre no hay presencia de bacterias. Para UFC de hongos el control fue el que presentó un elevado número de colonias comparado con los demás tratamientos, esto puede deberse a que el enjuague con agua y además el desinfectante ayuda de manera significativa a eliminar hongos propios del fruto como los son *Botrytis cinerea* y *Rhizopus stolonifer* [8], y que hacen más sensible y percedero este alimento.

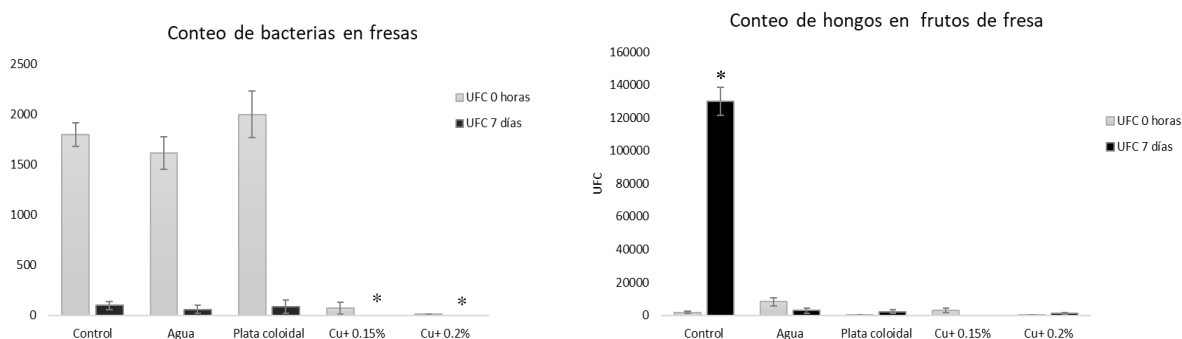


Figura 1. Unidades Formadoras de Colonias para bacterias y hongos en frutos de fresa. Las UFC de bacterias y hongos fueron determinadas en tiempo 0 y 7 días post-tratamiento. Los datos representan los promedios \pm D.S. de tres experimentos independientes realizados por triplicado. * $p < 0.05$.

Vida de anaquel en frutos después de tratamiento con Cu^+

Los frutos hasta el día 5 post-tratamiento mostraron un buen aspecto, no se observa marchitamiento, ablandamiento, cambio de color o presencia de hongos (Figura 2).



Figura 2. Frutos desinfectados 5 días post-tratamiento. **a**, fresas control. **b**, fresas lavadas con agua. **c**, fresas desinfectadas con plata coloidal. **d** y **e**, fresas desinfectadas con la solución de iones de cobre al 0.15% y 0.2% respectivamente.

Para el día 6 (Figura 3) ya se pueden observar manchas color marrón y ablandamiento de los frutos en los tratamientos a y b.



Figura 3. Frutos desinfectados 6 días post-tratamiento. **a**, fresas control. **b**, fresas lavadas con agua. **c**, fresas desinfectadas con plata coloidal. **d** y **e**, fresas desinfectadas con la solución de iones de cobre

Los tratamientos a y b presentan hongos al día 7 , los demás tratamientos solo observan ablandamiento, siendo el tratamiento **e** el que tiene una mejor apariencia. Estos frutos fueron seleccionados para realizar un segundo análisis antimicrobiano.

En el día 10 despues del tratamiento ya se puede observar marchitez de los frutos en los tratamientos a, b,c y d. En el tratamiento e (0.2% Cu+) los frutos presentan un buen aspecto. Los tratamientos a y b son los más dañados (Figura 4).



Figura 4. Frutos desinfectados 10 días post-tratamiento. **a**, fresas control. **b**, fresas lavadas con agua. **c**, fresas desinfectadas con plata coloidal, **d** y **e**, fresas desinfectadas con la solución de iones de cobre al 0.15% y 0.2% respectivamente.

Los tratamientos a y b presentan hongos en el día 10 y 13 , los demás tratamientos solo observan ablandamiento, siendo el tratamiento **e** el que tiene una mejor apariencia. El tratamiento **c** presenta hongos al día 15 y los tratamientos con la solución de Cu⁺ presentan ablandamiento. (Figura 5).



Figura 5. Frutos desinfectados 15 días post-tratamiento. **c**, fresas desinfectadas con plata coloidal. **d** y **e**, fresas desinfectadas con la solución de iones de cobre al 0.15% y 0.2% respectivamente.

La solución con iones de cobre al 0.2% muestra una buena actividad antibacteriana, además de mantener un mejor aspecto de los frutos de fresa por más tiempo en comparación con los frutos no tratados y con plata coloidal, sin embargo a pesar de que disminuye el crecimiento de hongos no los elimina por completo.

Cuantificación de bacterias y hongos totales en mejillón

En la Figura 6, se observa el crecimiento que se obtuvo de los diferentes tratamientos para determinar UFC de bacterias y hongos. En la muestra de carne tanto para Bacterias como para hongos las colonias fueron incontables para los tratamientos control, agua y plata coloidal, en cuanto a las muestras tratadas con solución 0.15% se observaron 8 UFC/g mientras que para 0.2% de Cu⁺ no se observó crecimiento. Para los isopados de la concha de mejillón se observó crecimiento solo en los tratamientos control (85 UFC/g), agua (6 UFC/g), para la desinfección con plata coloidal, y soluciones 0.15% y 0.2% de Cu⁺ no se observó crecimiento. Las soluciones de 0.15% y 0.2% de Cu⁺, mostraron la mejor actividad antimicrobiana para Mejillón.

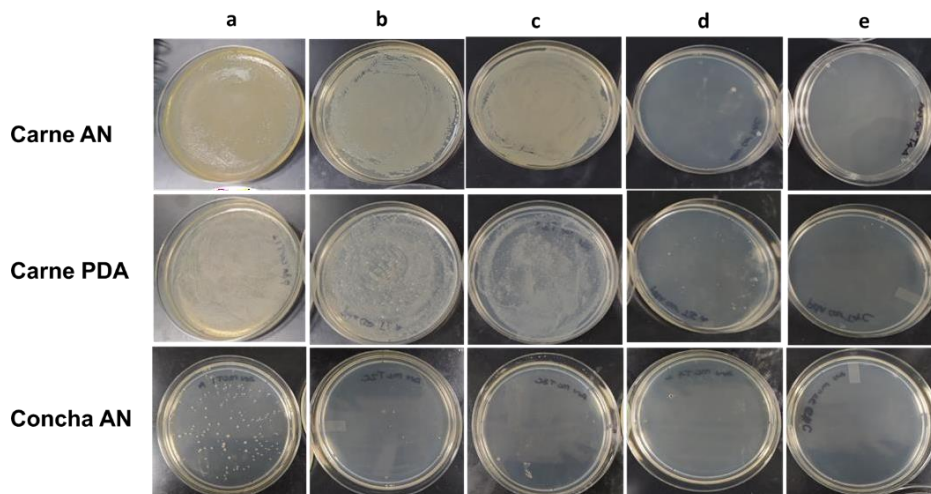


Figura 6. Unidades Formadoras de Colonias para bacterias y hongos en mejillón. Las UFC fueron determinadas 24 horas post-tratamiento. **a**, control (solo se descongelaron y procesaron). **b**, mejillones lavados con agua. **c**, mejillones desinfectados con plata coloidal. **d** y **e**, mejillones desinfectados con la solución de iones de cobre al 0.15% y 0.2% respectivamente

Identificación Molecular de *V. cholerae* en alimentos marinos

Para determinar la eficacia de la solución desinfectante a base de iones cobre sobre patógenos se analizó mediante PCR la presencia de la bacteria *V. cholerae*. Fue obtenido el DNA genómico de las muestras con los

diferentes tratamientos, el cual mostró una buena calidad e integridad del material genético, obteniéndose concentraciones de 600- 1200 ng/ μ L con coeficientes de 260/280 de 1.8-1.95. El DNA se ajustó a una concentración de 200 ng/ μ L y se realizó la PCR para la amplificación de un fragmento del gen 16S específico para *V. cholerae*. En la Figura 7 se puede observar la una clara amplificación del tamaño esperado (431 pb) en las muestras de carne de mejillón control y la solución de iones de Cu^+ 0.15%. Como se observó en los análisis antimicrobianos la concentración 0.15% muestra una cantidad baja de bacterias y algunas de ellas son *V. cholerae*.

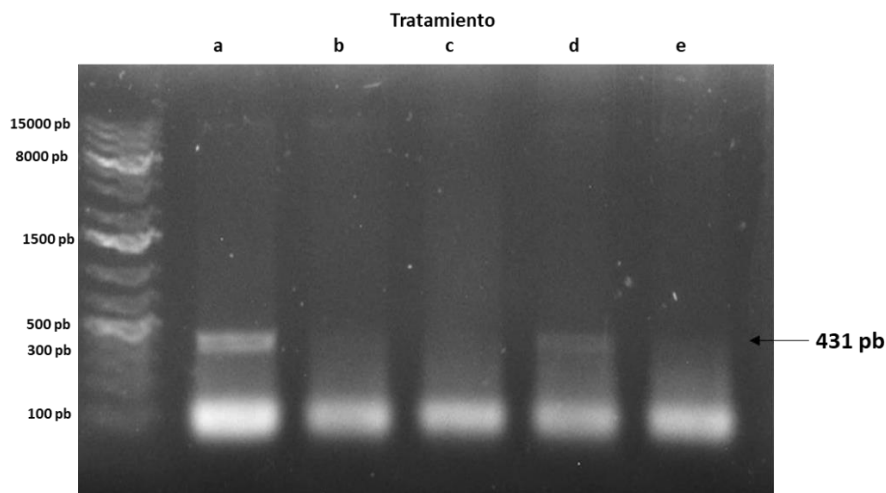


Figura 7. Productos de amplificación mediante PCR de un fragmento del gen 16S para identificación de *V. cholerae* en carne de mejillón. **a**, control. **b**, mejillones lavados con agua. **c**, mejillones desinfectados con plata coloidal. **d** y **e**, mejillones desinfectadas con la solución de iones de cobre al 0.15% y 0.2% respectivamente. Fragmento de amplificación de 431 pb.

Trabajo a futuro

Se ha generado protocolo de la actividad antibacteriana y antifúngica del producto Cuprion 22 sobre frutos rojos y en alimentos marinos (mejillón). Sin embargo, la principal característica de los desinfectantes en el área alimenticia es que sean de amplio espectro, es decir ser activo frente a muchos tipos de microorganismos y de acción rápida, se planea seguir analizando este producto para la determinación de actividad antiviral, además de analizar esta actividad biocida en otros productos marinos como ostión y camarón.

Conclusiones

Existe un amplio número de formulaciones biocidas para el uso en alimentos de consumo humano, sin embargo, el objetivo final es el mismo, que tengan una alta eficacia antimicrobiana y que mantenga las características organolépticas de los productos por más tiempo.

La solución desinfectante de iones cobre Cuprion22 mostró una buena actividad antimicrobiana en frutos de fresa, manteniendo una mejor apariencia del producto por más tiempo. Además, en concentraciones de 0.2.% esta solución eliminó el crecimiento de la bacteria *V. cholerae* en mejillones, resultando ser un desinfectante efectivo para el control de la bacteria.

Agradecimientos

Se hace un especial agradecimiento al Instituto de Innovación, Ciencia y Emprendimiento para la Competitividad para el Estado de Guanajuato (idea GTO), por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo. Así como a la empresa Cuprion 22 S.A de C.V. por la vinculación para el desarrollo de este proyecto.

Referencias

- [1] S. Chakraborty y H. Dutta, "Use of nature-derived antimicrobial substances as safe disinfectants and preservatives in food processing industries: A review", *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021
- [2] A. Diomedi, E. Chacón, L. Delpiano, B. Hervé, M. I. Jemenao, M. Medel, M. Quintanilla, G. Riedel, J. Tinoco, and M. Cifuentes. "Antisépticos y desinfectantes: apuntando al uso racional. Recomendaciones del Comité Consultivo de Infecciones Asociadas a la Atención de Salud, Sociedad Chilena de Infectología." *Revista chilena de infectología* 34, no. 2: 156-174, 2017
- [3] M. L. González Rodríguez y A. Calle-Moriel, "Avances en las formulaciones de los antisépticos", *Ars Pharmaceutica (Internet)*, vol. 62, n.º 4, pp. 451–470, 2021.
- [4] G. Borkow y J. Gabbay, "Copper as a Biocidal Tool", *Current Medicinal Chemistry*, vol. 12, n.º 18, pp. 2163–2175, 2005
- [5] V. Govind et al., "Antiviral properties of copper and its alloys to inactivate covid-19 virus: a review", *BioMetals*, 2021
- [6] T. Ramamurthy, B. Das., S. Chakraborty., A. K. Mukhopadhyay., & D.A. Sack. "Diagnostic techniques for rapid detection of *Vibrio cholerae* O1/O139". *Vaccine*, 38, A73-A82, 2020
- [7] J. Sambrook y D. W. Russell, "Purification of Nucleic Acids by Extraction with Phenol:Chloroform", *Cold Spring Harbor Protocols*, vol. n.º 1. 2006
- [8] S. Petrasch, S. J. Knapp, J. A. L. van Kan y B. Blanco-Ulate, "Grey mould of strawberry, a devastating disease caused by the ubiquitous necrotrophic fungal pathogen *Botrytis cinerea*", *Molecular Plant Pathology*, vol. 20, n.º 6, pp. 877–892, 2019

Estrategia de cuantificación de distribuciones de tamaño de cristal (DTC) en la cristalización de estevia – azúcares levógiros

E. Bolaños Reynoso^{1*}, V. Rosas Calderon¹, J. Bolaños Báez¹, J. L. Bolaños Reynoso¹, López Zamora¹,
¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9 No. 852, Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Veracruz, México.
*eusebio.itorizaba@gmail.com

Área de participación: Ingeniería química (Procesos)

Resumen

Se desarrolló una estrategia de cuantificación de distribuciones de tamaños de cristal (DTC) a partir de estadísticas descriptivas (media $D(2,1)$ y desviación estándar $S(2,1)$) proveniente de datos experimentales de la cristalización de estevia – azúcares levógiros (miel de abeja de Veracruz, MX), para determinar el tamaño promedio (diámetros) y varianzas de los momentos de distribución en longitud, número, área y volumen. Se realizó un análisis físico químico para una miel de las 3 mieles adquiridas de distintas zonas de la región, se determinó la proporción de etanol-agua a utilizar basada como medio dispersante para las cristalizaciones de estevia (Rabaudiósida A) – azúcares levógiros (miel de abeja) en el rango de temperatura de 50 a 10 °C por enfriamiento natural y lineal. Finalmente, se obtuvo un software en C++ que permite analizar diferentes estrategias de cuantificación de la DTC a partir de datos experimentales, obteniéndose los momentos en número, longitud, área y volumen.

Palabras clave: distribuciones, cristal, estevia, cristalización.

Abstract

A crystal size distribution (CSD) quantification strategy was developed from descriptive statistics (mean $D(2,1)$ and standard deviation $S(2,1)$) from experimental data on crystallization of stevia - left-handed sugars (honey bee from Veracruz, MX), to determine the average size (diameters) and variances of the distribution moments in length, number, area and volume. A physical chemical analysis was carried out for one honey of the 3 honeys acquired from different areas of the region, the proportion of ethanol-water to be used as a dispersing medium for the crystallizations of stevia (Rabaudiósida A) - left-handed sugars (honey bee) was determined. The crystallizations were made in the temperature range of 50 to 10 C by natural and linear cooling. Finally, a C++ software was obtained that allows analyzing different DTC quantification strategies from experimental data, obtaining the moments in number, length, area and volume.

Key words: distributions, crystal, stevia, crystallization.

Introducción

La cristalización es una separación térmica y un proceso de purificación que genera un producto sólido desde una solución líquida o vapor. La presión de vacío puede ser usada también para forzar el estado no estable necesario para un cambio de fase [1]. La calidad del producto cristalino está determinada por la masa y por la distribución del tamaño de cristal. Estos parámetros dependen de las cinéticas de cristalización (nucleación y crecimiento) que están delimitadas por la sobresaturación de la solución, las zonas de concentración-temperatura metaestable, intermedia y lábil [2], [3]. Lo anterior, requiere de la determinación de los diferentes momentos de la DTC: número, longitud, área y volumen. El aumento en la incidencia de trastornos metabólicos como diabetes, obesidad y enfermedades cardiovasculares debido al consumo excesivo de azúcar comercial (sacarosa al 99.9 %), ha resultado en un aumento en la demanda de edulcorantes alternativos naturales. Actualmente, tienen alta demanda el uso de edulcorante como los glucósidos de esteviol (Rebaudiósida A) proveniente de las hojas de la planta Stevia Rebaudiana Bertoni, al contar con cero calorías y se puedan utilizar como sustitutos del azúcar comercial en la dieta. Son ideales en dietas de bajas o nulas calorías para personas tendientes a la obesidad o con diabetes en etapas iniciales y/o intermedias. Además, poseen propiedades funcionales y sensoriales superiores a los de muchos otros edulcorantes de alta intensidad [4]. Los glucósidos de esteviol son 200–300 veces más dulces que

el azúcar de caña con buena biocompatibilidad [5], destacando entre ellos el Rebaudiósido A, que es uno de los glucósidos que se encuentra en mayor proporción en la planta de estevia (97%). Tiene ligero sabor amargo, por lo que su purificación a través de técnicas de cristalización pueden hacerlo más agradable al consumidor; está aprobado por el comité Mixto de Expertos FAO/OMS en Aditivos Alimenticios [6] como un edulcorante de consumo seguro.

Se ha observado que la estevia (Rebaudiosido A) es altamente levógiro con rotación por polarimetría de $[\alpha]_{D25}^C(-30.70 \text{ grados})$ [7], por lo que se tiene la hipótesis de que complementado con azúcares levógiros: 1) provenientes de la sacarosa ($[\alpha]_{D20}^C(+66.53 \text{ grados})$) invertida por hidrólisis enzimática producen los isómeros de glucosa ($[\alpha]_{D20}^C(+52.70 \text{ grados})$) y fructosa ($[\alpha]_{D20}^C(-92.40 \text{ grados})$), donde la mezcla resultante desarrolla un poder levorrotatorio ($[\alpha]_{D20}^C(-20.0 \text{ grados})$) por la fuerte influencia de la fructosa y 2) provenientes de la miel de abeja (hidrolizada por *Apis mellifera*) en glucosa y fructosa de manera natural.

La masa y tamaño del producto formado (potencialmente levógiro) se puede incrementar a través de técnicas de cristalización por lotes con enfriamientos natural o lineales programados [8]. La purificación del glucósido de esteviol (Rebaudiósido A) se efectúa de manera artesanal, obteniéndose un producto de tamaño promedio pequeño ($D(2,1) = 37 \mu\text{m}$) con presentación en polvo, lo que dificulta su consumo y comercialización como producto puro, además de su elevado costo de producción. Actualmente, las presentaciones comerciales cuentan con 1% o 2% de estevia y el resto incluye azúcar de caña refinada. Para lograr un nuevo producto a partir de las cristalizaciones de estevia (Rebaudiosida A) – azúcares levógiros (miel de abeja), se requiere identificar regiones factibles para su cristalización a través de la curva de saturación y las zonas de concentración-temperatura: metaestable, intermedia y lábil, esto requiere del conocimiento previo de la DTC.

Este trabajo contribuye al área prioritaria de desarrollo sustentable - alimentos y su producción, con posible vinculación industrial al obtener un producto cristalino alternativo a la sacarosa para personas tendientes a la obesidad o con diabetes en etapas iniciales. Se desarrolló una estrategia de cuantificación de la DTC a partir de estadísticas descriptivas (media $D(2,1)$ y desviación estándar $S(2,1)$) proveniente de datos experimentales de la cristalización de estevia – azúcares levógiros (miel de abeja del Estado de Veracruz, MX), determinándose los momentos de distribución: longitud, número, área y volumen. Se desarrolló un software en C++ para analizar estrategias de cálculo.

Metodología

Materiales

Como materia prima se empleó: 1) estevia Bonda Indumax 150, presentación de bolsa resellable de 250 g. Cada gramo es equivalente a 150 gramos de azúcar regular, resultando ideal para endulzar alimentos y bebidas en masa. 2) Miel de abeja, con tonalidad de color ámbar luminoso, aroma floral, sabor dulce y ligeramente ácido. Al ser miel 100% de abeja, es viable la cristalización de ésta. Contiene al menos, 2% de polen de café y 14% de polen de árboles dentro del ecosistema de siembra de café (estado de Veracruz, MX). El medio dispersante para la cristalización estevia (rebaudiósido A)-azúcares levógiros (miel de abeja) fue la mezcla de alcohol etílico-agua en porcentajes de 65-35, respectivamente; con un índice de refracción (IR) de 1.4284.

Preparación

Se prepararon las muestras a cristalizar de estevia – azúcares levógiros (miel de abeja) disuelta en una solución de alcohol etílico-agua (%v/v). Se empleó un cristizador por lotes de vidrio de borosilicato con capacidad de 1 L tipo tanque, con agitadores de acero inoxidable tipo propela y paleta plana, con chaqueta de calentamiento/enfriamiento (capacidad de 500 ml). Ver Figura 1a. El rango de temperatura de cristalización fue de 50 a 10 °C por enfriamiento natural y lineal, usándose un baño de recirculación programable con calefacción y refrigeración de líquidos en el tanque marca JULABO, modelo F34-MD (ver Figura 1b). La carga de materiales al cristizador se efectuó de manera manual por la parte superior del mismo (ver Figura 1c).

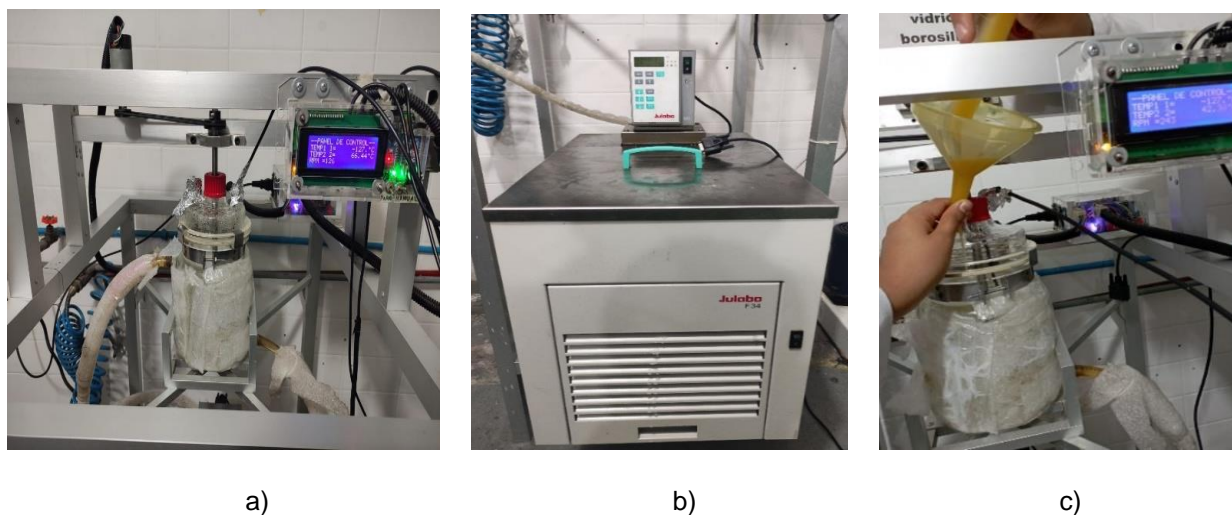


Figura 1. Equipo de cristalización. a) Cristalizador por lotes. b) Sistema de térmico. c) Carga de materiales.

El seguimiento del crecimiento del cristal formado se realizó a través de micrografías obtenidas de un Microscopio Primo Star iLED, marca Carl Zeiss, modelo 37081. Los cambios de concentración en el proceso se determinaron con un Refractómetro Automático de ángulo crítico, marca SCHMIDT HAENSCH, modelo ATR-ST; el cual mide el IR de medios líquidos. Para las mediciones en campo, se empleó un refractómetro de mano marca TAGO, modelo HRS-500. Para el sistema de adquisición de datos y manipulación de las variables del proceso: velocidad de agitación y control de temperaturas, se usó un sistema de control tipo Arduino (ver Figura 1a). Para la medición de temperaturas se emplearon termopares tipo J (Hierro – Constantán) (Cobre-Níquel). Para el seguimiento del pH de las mieles se empleó un Potenciómetro marca Thermo-Orion, modelo 250 A+.

Desarrollo

En la Figura 2, se describen las etapas para la cuantificación de la DTC en la cristalización de estevia – azúcares levógiros (miel de abeja) disuelta en una solución de alcohol etílico-agua (%v/v). En esta figura, se muestra también la determinación de la masa de cristal formado (MCF).

Se experimentó con 3 mieles de abeja 100% natural (ver Figura 3), para determinar cuál contenía mayor concentración de azúcares (°Brix) y poder considerarla como materia prima. El color de una miel es el resultado de una reacción entre sus azúcares, proteínas y minerales; cuanto más tenga de estos últimos, más oscura será la miel y darán un sabor más salado al gusto del consumidor (menos dulce). También, fue analizado esto al momento de seleccionar la miel (ver Tabla 1) [9].

Para la experimentación se planteó un diseño de experimentos (DoE) considerando un diseño tipo factorial 2^2 con replica [10], donde el factor A correspondió a la muestra de miel de abeja (baja 5 g y alta 10 g), el factor B a la velocidad de agitación (baja 150 rpm y alta 250 rpm). Las variables de respuesta fueron: la DTC medida en longitud (media $D(2,1)$ y desviación estándar $S(2,1)$) y la MCF medida en gramos.

El sembrado de cristales se efectuó de manera manual. Su tiempo de adición fue al principio de la operación cuando la nucleación espontánea es nula. Se emplearon núcleos formados de una cristalización previa de estevia y miel de abeja (ver Figura 4). Se pesaron 5 g de estos núcleos y se vertieron en la solución sobresaturada a cristalizar a la temperatura de 50°C.

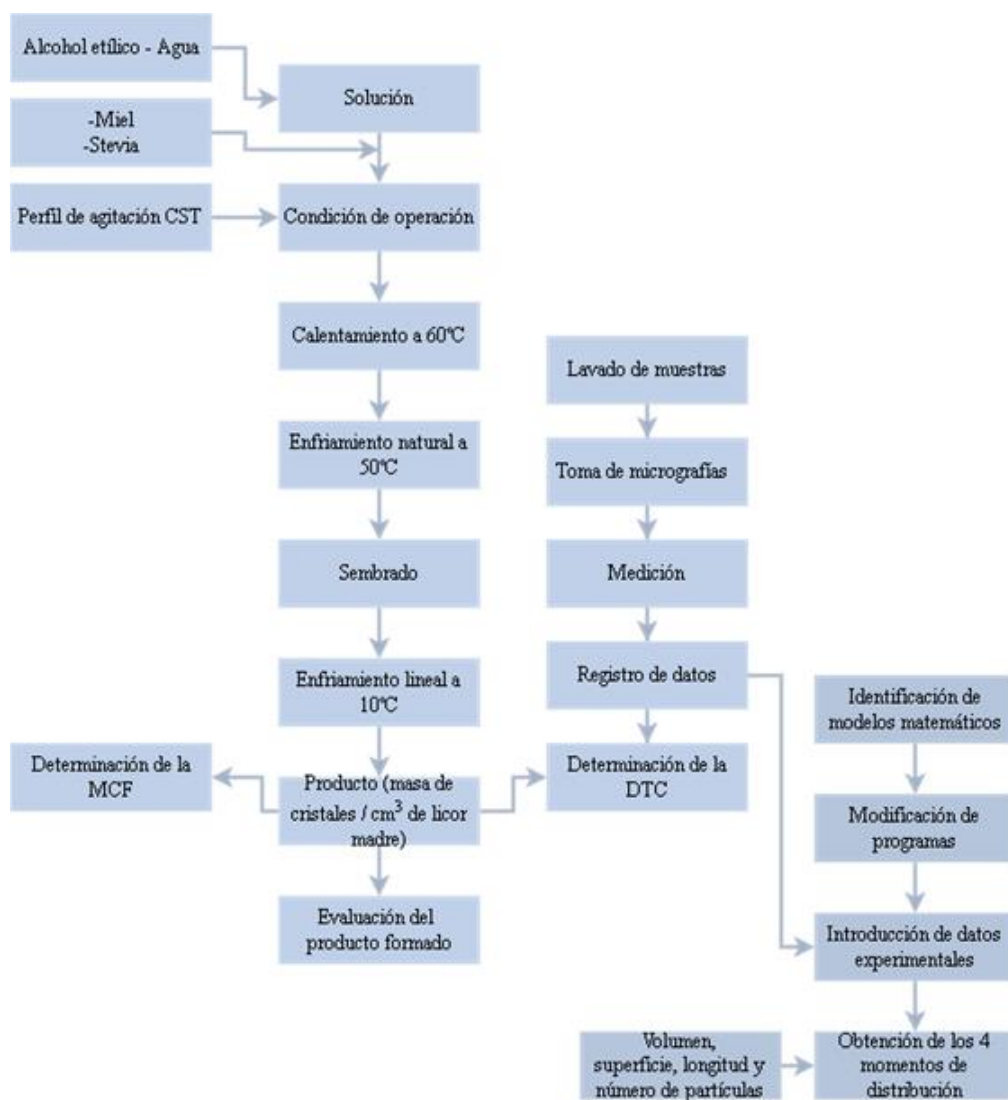


Figura 2. Etapas de cuantificación de la DTC. Cristalización de estevia (glucósido de esteviol) - azúcares levógiros.



Figura 3. Selección de la miel de abeja a cristalizar (A, B, C)

Tabla 1. Ubicación del tipo de mieles a seleccionar (A, B, C).

Mieles	Nombre	Zona
A	Apiarios Apigof (color amarillo)	Huatusco, Ver. Mx
B	Apiarios Bautista	Coatepec, Ver. Mx.
C	Apiarios Apigof (color ámbar)	Huatusco, Ver. Mx.

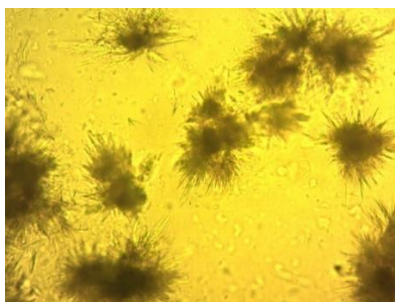


Figura 4. Núcleos formados de la mezcla estevia – azúcares levógiros (miel de abeja) dispersos en una solución de alcohol etílico-agua (%v/v).

Resultados y discusión

Selección de miel de abeja a cristalizar

Para la selección de miel de abeja a cristalizar con la estevia, se determinó el índice de refracción (°Brix) como un indicador de la concentración de azúcares (ver Tabla 2), además del pH como indicador de acidez (ver Tabla 3) y las micrografías correspondientes del crecimiento del cristal (Figura 5). Resultado la muestra A, la más viable para favorecer la cristalización en la mezcla; al presentar mayor concentración en promedio de azúcares (78.66 °Brix), mayor acidez (3.80) y un color más claro, siendo este último un indicador de que la miel contiene menos minerales, que darán una percepción de un sabor más dulce al gusto del consumidor [9].

Tabla 2. Índice de refracción (°Brix) de las de mieles a seleccionar (A, B, C).

Muestra	Índice de refracción (°Brix)			
	Replica 1	Replica 2	Replica 3	\bar{x}
A	78.00	80.00	78.00	78.66
B	77.00	77.00	77.00	77.00
C	77.20	77.00	77.00	77.06

Tabla 3. pH de las de mieles a seleccionar (A, B, C).

Muestra	pH			
	Replica 1	Replica 2	Replica 3	\bar{x}
A	3.88	3.86	3.68	3.80
B	4.21	4.10	4.22	4.17
C	4.17	4.08	4.10	4.11

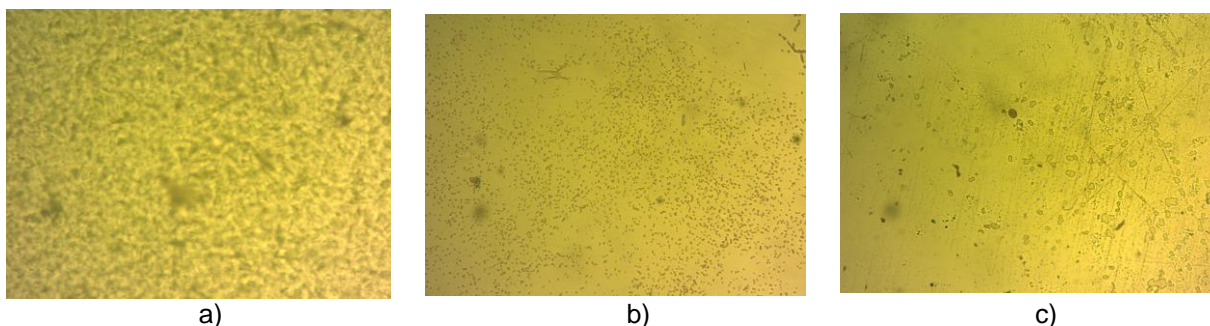


Figura 5. Micrografías del crecimiento de cristal en la mezcla estevia – azúcares levógiros (miel de abeja). Objetivo 10x. a) Apiarios Apigof amarillo. b) Miel Apiarios Bautista. c) Miel Apigof-ámbar.

Formulación matemática de cálculo de momentos de distribución

A partir de sólo dos parámetros experimentales de los momentos de distribución en longitud (media $D(2,1)$ y desviación estándar $S(2,1)$) provenientes de las micrografías, es factible calcular los diámetros promedio y desviaciones estándar (o varianzas) de los momentos: número, área y volumen; y validar lo determinado con el valor experimental en longitud; así como obtener las ojivas log-normal de cada distribución (DTC). Esta estrategia resulta innovadora al combinar técnicas estadísticas-matemáticas (ajuste de datos por regresión no lineal) para la obtención de estas. El diámetro promedio (\bar{d}) y la desviación estándar(σ), son determinados por la Ecuación (1) y (2), respectivamente:

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i X_i}{\sum X_i} = D[K + 1, K] \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum X_i (d_i - \bar{d})^2}{\sum X_i}} = \sqrt{D[K + 2, K]^2 + D[K + 1, K]^2} \quad (2)$$

donde d_i es el diámetro de la partícula, K y X_i dependen de la distribución calculada, la Ecuación (3) relaciona los diámetros promedio derivados $D[m, n]$ y V_i es la DTC experimental en % volumen (ver Tabla 4).

$$D[m, n]^{m-n} = \frac{D[m, 0]^m}{D[n, 0]^n} \quad (3)$$

Tabla 4. Diámetros promedio derivados para momentos de la DTC.

	Distribución	K	X_i
Volumen	D(4,3)	3	V_i
Superficie	D(3,2)	2	V_i/d_i
Longitud	D(2,1)	1	V_i/d_i^2
Número	D(1,0)	0	V_i/d_i^3

Para la determinación de las ojivas log-normal de cada distribución (DTC), se efectúa un ajuste de mínimos cuadrados para la distribución en longitud (ver Ecuación (4), donde $F(d)$ es la frecuencia relativa para el diámetro d_i y X_i (ver Tabla 4).

$$F(d) = \frac{1}{(\sigma_y)\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln(d) - (\mu_y))^2}{2(\sigma_y)^2}\right) \quad (4)$$

La media (μ_y) y la varianza (σ_y) de la distribución, se obtienen de las Ecuaciones (5) y (6), respectivamente; por medio del método de regresión no lineal de Newton-Raphson modificado:

$$\mu_x = D(2,1) = e^{\mu_y + 0.5\sigma_y^2} \quad (5)$$

$$\sigma_x^2 = (S(2,1))^2 = e^{2\mu_y + \sigma_y^2}(e^{\sigma_y^2} - 1) \quad (6)$$

Siendo media (μ_x) y la varianza (σ_x^2) de la distribución, los dos parámetros experimentales en longitud requeridos (diámetro de cristal promedio $D(2,1)$ y su desviación estándar $S(2,1)$, provenientes de las micrografías obtenidas. Así, a partir de las Ecuaciones (4) – (6), se obtienen la información de la DTC (% longitud) para su posible uso en balances de población para sistemas que dan seguimiento al tamaño de partículas o de cristal [2], [4], [8] y [9].

Cuantificación de la DTC

En la Tabla 5, se presentan los resultados experimentales de los diámetro de tamaño de cristal promedio $D(2,1)$ y su desviación estándar $S(2,1)$ en longitud del diseño experimental planteado (DoE) 2^2 y su réplica, provenientes de las micrografías obtenidas del microscopio Primo Star iLED.

Tabla 5. Resultados experimentales de los diámetro de tamaño de cristal promedio $D(2,1)$ y su desviación estándar $S(2,1)$ en longitud. Diseño 2^2 y replica.

Tiempo (min)	Corrida 1		Corrida 2		Corrida 3	
	D (2,1)	S (2,1)	D (2,1)	S (2,1)	D (2,1)	S (2,1)
45	22.8873	4.0864	18.4866	3.0772	16.863	3.5704
90	32.4105	2.1693	29.3073	4.017	25.6749	3.2999
135	47.461	7.9741	45.4317	7.3165	37.9752	6.9566
180	109.9775	56.8659	88.6531	33.9444	79.6376	22.6802
Tiempo (min)	Corrida 4		Corrida 5		Corrida 6	
	D (2,1)	S (2,1)	D (2,1)	S (2,1)	D (2,1)	S (2,1)
45	21.1723	1.8414	19.9729	4.9646	18.4679	3.9914
90	32.3188	3.4681	29.4645	1.8921	28.9375	2.6377
135	59.1972	11.5229	43.5237	6.0917	37.9858	4.222
180	133.4926	37.1522	89.3105	38.2604	63.319	27.1554

Tabla 5. Resultados experimentales de los diámetro de tamaño de cristal promedio $D(2,1)$ y su desviación estándar $S(2,1)$ en longitud. Diseño 2^2 y replica. Continuación.

Tiempo (min)	Corrida 7		Corrida 8	
	D (2,1)	S (2,1)	D (2,1)	S (2,1)
45	23.6819	4.8412	24.3021	6.2484
90	38.3271	3.056	42.3533	4.1603
135	44.6237	1.9706	54.311	6.5727
180	59.6377	7.9649	82.9339	13.7861

Empleando el procedimiento desarrollado a través de las Ecuaciones (1) – (6), se presentan las distribuciones en % Longitud y % Volumen para la corrida 1 y su réplica, corrida 4, que presentan un mayor crecimiento del cristal (109.97775 μm y 133.4929 μm), respectivamente. Ver Figuras 6 y 7. Estos resultados provienen del código fuente desarrollado en C++ (ver Figura 8), compilado en software Visual Studio Code [11].

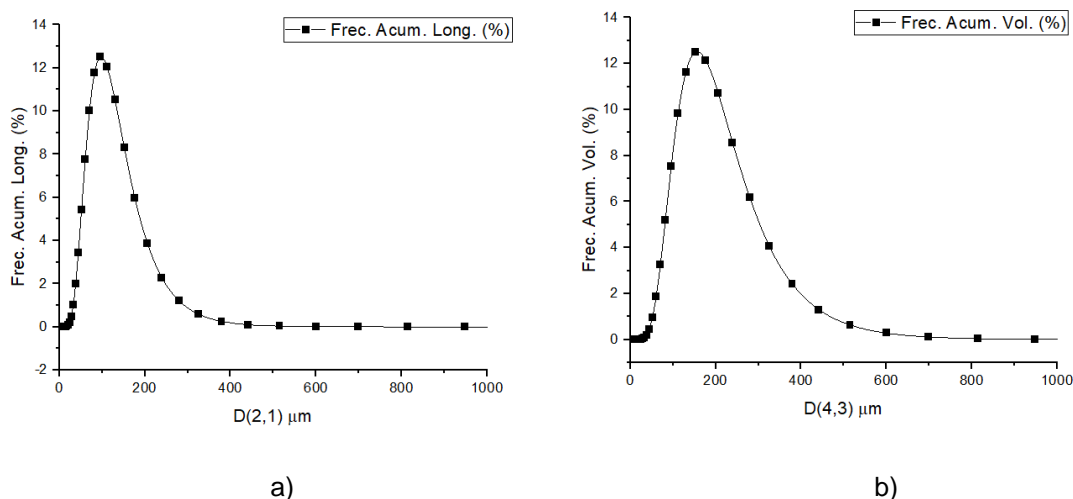


Figura 6. Distribución de tamaño de cristal, Corrida 1. a) % Longitud y b) % volumen.

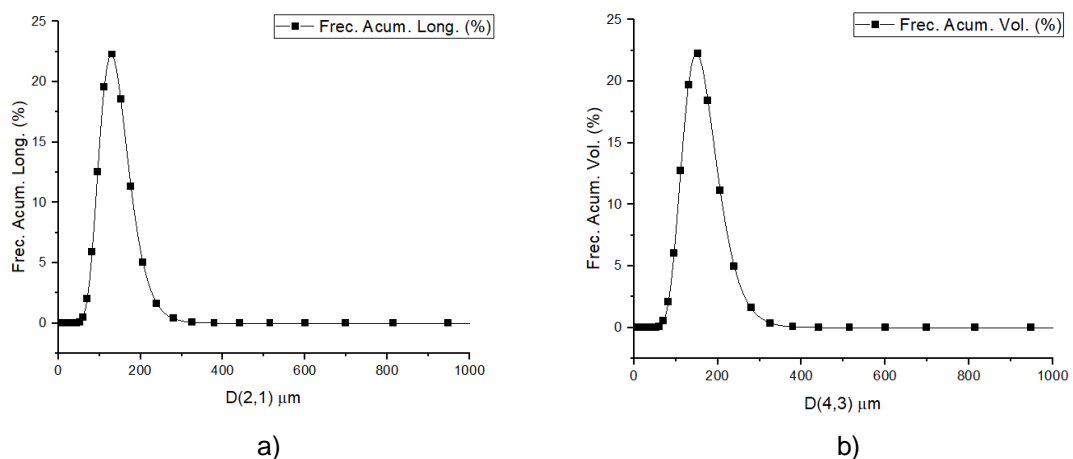


Figura 7. Distribución de tamaño de cristal, Corrida 4. a) % Longitud y b) % volumen.

Figura 8. Código fuente en C++. Solución de la Ecuaciones (1) –(6).

De lo que se observa de la Tabla 5 (tiempo experimental de 180 min) y de la Tabla 6 (diámetros calculados), para el D(2,1) y S(2,1), las corridas 1 y 4 presentan un error inferior al 1%, determinándose como validado el procedimiento establecido a través de las Ecuaciones (1) – (6). Diferentes autores emplearon algunas de las Ecuaciones (1) – (6) en un orden de cálculo diferente [2], [4], [8] y [9] para determinaciones de la DTC, obteniendo resultados satisfactorios que validaron experimentalmente. En este trabajo, resulta innovador la metodología, secuencia de solución de las Ecuaciones (1) – (6), para el cálculo de la DTC y obtención de las ojivas log-normal de los momentos de las distribuciones.

Tabla 6. Resultados del diámetro de tamaño de cristal promedio y su desviación estándar calculados con las ecuaciones (1) – (6).

Momento de distribución	Corrida 1		Corrida 4	
	Diámetro promedio	Desviación estándar	Diámetro promedio	Desviación estándar
Volumen	176.641739	91.300858	154.973022	43.129948
Área	139.380844	72.065620	143.832382	40.029758
Longitud	109.977531	56.865665	133.492615	37.152172
Número	86.776855	44.869621	123.896118	34.481377

Trabajo a futuro

Se continuará con la determinación específica de los momentos de distribución (en unidades correspondientes), cuyos resultados son viables de emplearse para la solución del balance de población y el cálculo de las cinéticas de cristalización.

Conclusiones

Se ha desarrollado una estrategia de cuantificación de distribuciones de tamaños de cristal (DTC) a partir de estadísticas descriptivas (media $D(2,1)$ y desviación estándar $S(2,1)$) proveniente de datos experimentales de la cristalización de estevia – azúcares levógiros, para determinar el tamaño promedio (diámetros) y varianzas de los momentos de distribución en longitud, número, área y volumen. Se determinó que la miel de abeja A, proveniente de Apiarios Apigof (color amarillo), zona Huatusco, Ver. Mx. Fue la más viable para favorecer la cristalización en la mezcla, al presentar mayor concentración en promedio de azúcares (78.66 °Brix), mayor acidez (3.80) y un color más claro, siendo este último un indicador de que la miel contiene menos minerales, que darán una percepción de un sabor más dulce al gusto del consumidor. De la formulación matemática de cálculo de los momentos de distribución, se obtuvieron las ojivas log-normal de cada distribución (DTC) y se efectuó su validación experimental con el momento de longitud. Se desarrollo un software en C++ que permite analizar diferentes estrategias de cuantificación de la DTC (solución de la secuencia de las Ecuaciones (1)-(6)) con errores menores al 1% entre los datos experimentales y los datos ajustados.

Agradecimientos

Se agradece al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento del proyecto: 13241.21-P y a la generación de estudiantes de residencias internas del Instituto Tecnológico de Orizaba, semestre enero-junio 2022.

Referencias

- [1] J. Ulrich, and R. Strege, "Some aspects of the importance of metastable zone width and nucleation in industrial crystallizers," *Journal of crystal Growth*, 237(1), 2130–2135, 2002.
- [2] E. Bolaños-Reynoso, "Control y optimización de las condiciones de operación de cristalizadores batch por enfriamiento," Instituto Tecnológico de Celaya-Guanajuato, Tesis de Doctorado en Ciencias en Ingeniería Química, 2000.
- [3] P.A. Quintana-Hernández, E. Bolaños-Reynoso, B. Miranda-Castro, and L.I. Salcedo-Estrada, "Mathematical Modeling and Kinetic Parameter Estimation in Batch Crystallization," *AIChE Journal*, Vol. 50, No. 7, pp. 1407 – 1417, USA, 2004.
- [4] L.S. Galicia Contreras, "Análisis de efectos en la cristalización del Glucósido de Esteviol (Rebaudiósido A) para la maximización del tamaño $D(2,1)$ y masa formada como sustituto edulcorante de la sacarosa," Instituto Tecnológico de Orizaba, Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química, 2017.
- [5] B.R. Adari, S. Alavala, S.A. George, H.M. Meshram, A.K. Tiwari, and A.V. Sarma, "Synthesis of rebaudioside-A by enzymatic transglycosylation of stevioside present in the leaves of *Stevia rebaudiana* Bertoni," *Food Chemistry*, 200, 154-158, 2016.
- [6] JECFA, "Steviol Glycosides From *Stevia rebaudiana* Bertoni (Tentative)," Organización Mundial de la Salud, Monograph, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2016.
- [7] S. Celaya, N. Kozlowsky, M. and Schmalko, "Optimización de la extracción de estevioglicósidos de *Stevia rebaudiana* Bertoni," Universidad Nacional Misiones-Argentina, Tesis de Maestría, 2016.
- [8] K.B. Sánchez-Sánchez, E. Bolaños-Reynoso, J.M. Méndez-Contreras, R. Cerecero-Enríquez, "Effects of agitation rates over metastable zone width (MSZW) of concentration for cane sugar crystallization," *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(2), 507-520, 2020.
- [9] V. Rosas-Calderon, "Análisis de efectos para el incremento de la DTC y MFC en la cristalización de la mezcla stevia (rebaudiósido a) – azúcares levógiros," Instituto Tecnológico de Orizaba, Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química, 2021.
- [10] D.C. Montgomery, "Design and Analysis of Experiments," Ninth Edition, JOHN WILEY & SONS, INC. U.S.A, ISBN 9781119113478, 2017.
- [11] Visual Studio Code, Versión 1.70.2, OS: Windows_NT x64, 10.0.22000, 2022

Caracterización del catalizador de Co/NTC para la descomposición de glicerina en glicoles

A. J. González Acencio¹, P. Sifuentes Gallardo^{1*}, A. S. López Rodríguez¹, L. L. Díaz-Flores¹, M. A. Hernández Rivera¹

¹ División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez Km 1, C.P. 86690, Tabasco. México.

[*psifuentes1@yahoo.com.mx](mailto:psifuentes1@yahoo.com.mx)

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En este trabajo se reporta la síntesis y caracterización de un catalizador de cobalto/nanotubos de carbono (Co/NTC) utilizado para la reacción de descomposición de la glicerina en glicoles de alto interés económico. La obtención del catalizador se realizó en dos etapas, la primera consiste en realizar una síntesis de combustión de solución para la obtención del precursor catalítico de óxido de cobalto (Co_3O_4). Este óxido fue utilizado en la segunda etapa realizada en un reactor de Deposición Química de Vapor (DQV) para la obtención de los nanotubos de carbono con las partículas de cobalto en su interior. El catalizador de Co/NTC fue analizado mediante Energía Dispersiva de rayos X (EDS, por sus siglas en inglés, Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), Difracción de Rayos X (XRD, por sus siglas en inglés, X-ray Diffraction) y Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM, por sus siglas en inglés, Transmission Electron Microscopy). Los resultados por EDS confirmaron la obtención de partículas de cobalto metálico y carbono en la totalidad de la muestra. Mediante la técnica TEM y se observaron las partículas de cobalto en el interior de los nanotubos de carbono de pared múltiple que presentaron un tamaño de 40 a 60 nm de diámetro.

Palabras claves: Nanotubos de carbono, Síntesis, Catalizador.

Abstract

In this work, the synthesis and characterization of a cobalt/carbon nanotubes (Co/NTC's) catalyst used for the decomposition reaction of glycerin in glycols of high economical interest is reported. The catalyst was synthesized in two steps. The first one consists of carrying out a solution combustion synthesis to obtain the catalytic precursor of cobalt oxide (Co_3O_4). These particles were reduced in the second step that was performed in a Chemical Vapor Deposition reactor (CVD) to obtain cobalt particles inside of carbon nanotubes. The Co/CNT's catalyst was analyzed by Energy Dispersive Spectroscopy (EDS), X-ray Diffraction (XRD) and Transmission Electron Microscopy (TEM). The EDS results confirmed the obtaining of metallic cobalt and carbon in the entire sample. SEM and TEM techniques showed the presence of cobalt particles inside multi-walled carbon nanotubes (MWCNT's) ranging from 40-60 nm in diameter.

Introducción

El 1,2,3-propanotriol o como se le conoce comúnmente glicerina, es un subproducto obtenido en diferentes procesos como lo son la saponificación del jabón o en la síntesis para la producción de

biodiesel, solo por mencionar algunos [1]. En la mayoría de estos procesos la glicerina es desechada y en bajo porcentaje es utilizada en industrias de cosméticos, tecnología de recubrimientos y en la industria alimenticia [2]. El proceso de descomposición de la glicerina es costoso y tardado, es por ello que en la mayoría de los casos de donde se obtiene como subproducto es desechada, sin embargo, los compuestos que se pueden obtener en el proceso de descomposición de la glicerina son de alto valor en el mercado, tal es el caso del 1,2-propanodiol y el 1,3-propanodiol, los cuales son alcoholes precursores en la síntesis de otros materiales [3]. En la actualidad existen biocatalizadores y catalizadores metálicos. Los biocatalizadores presentan manejo muy cuidadoso y un tiempo síntesis alto mientras que los catalizadores metálicos tienen un costo alto y baja conversión y selectividad de la glicerina [4, 5]. Estas alternativas son costosas, es por ello que se realizó la síntesis del catalizador de Co/NTC para la descomposición de la glicerina. En consecuencia, el objetivo de esta investigación es obtener y caracterizar el catalizador de Co/NTC que promueva la reacción de descomposición de la glicerina. Este catalizador tiene gran importancia porque para sintetizarlo se utilizan materiales de bajo costo como carbón y cobalto. Adicionalmente, las propiedades magnéticas del cobalto permiten la recuperación del catalizador al final de la reacción aplicando un campo magnético.

Metodología

Síntesis del catalizador. Para la obtención del catalizador de Co/NTC se sintetizó el precursor catalítico de óxido de cobalto (II,III) que tiene la fórmula Co_3O_4 , esto fue realizado mediante una síntesis de combustión de solución [6], en la cual se mezclaron nitrato de cobalto hexahidratado ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) y urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) en una relación en masa de 1:5 respectivamente. La mezcla se calcinó a $300\text{ }^\circ\text{C}$ en una mufla durante 3 horas, el proceso se muestra en la Figura 1.

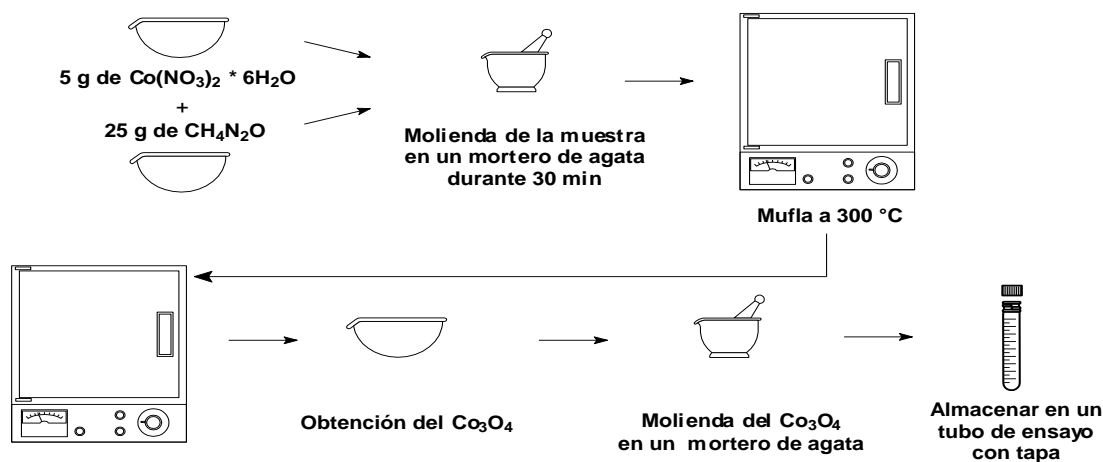


Figura 1. Diagrama de proceso de la síntesis del Óxido de Cobalto (II,III)

En la segunda etapa se realizó la síntesis del catalizador de Co/NTC, esta fue realizada en un reactor DQV a $800\text{ }^\circ\text{C}$ durante 6 horas (Figura 2). La fuente de átomos de carbono fue polipropileno reciclado y el precursor catalítico fue el óxido de cobalto sintetizado con anterioridad [7].

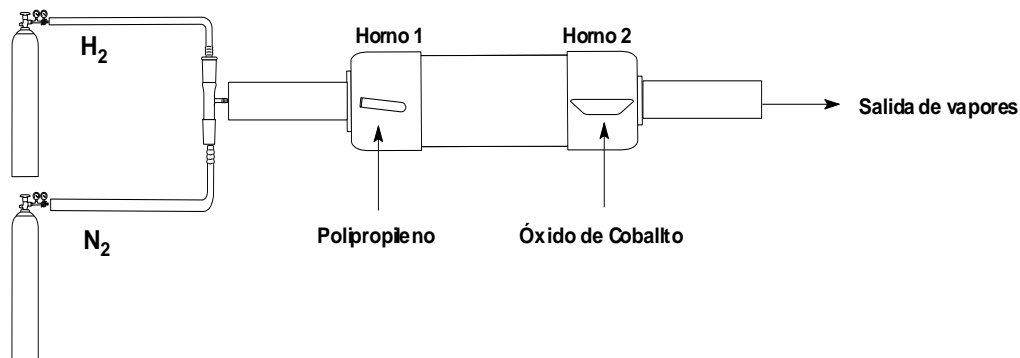


Figura 2. Diagrama de proceso para la obtención de Co/NTC

Caracterización: El precursor catalítico y el catalizador fueron caracterizados mediante las técnicas de EDS, DRX y TEM. Para el análisis de EDS se utilizó un equipo marca JEOL JSM-6010LA. Los espectros de XRD se analizaron mediante un equipo Malvern Panalytical Modelo Epyrean. Para la caracterización por microscopía electrónica de transmisión se usó un equipo JEOL JEM 2100.

Resultados y discusión

Las muestras de óxido de cobalto (Co_3O_4) y cobalto (Co), fueron analizadas por la técnica de espectroscopia de energía dispersa de rayos X, para conocer su composición química elemental, al analizar las muestras de óxido de cobalto, en la Figura 3 a) se puede identificar, que en el espectro se encuentran las señales características del cobalto metálico en los 0.9, 1, 7 y 7.8 keV, siendo la intensidad principal correspondiente a la emisión $K\alpha = 7.8$ y $L\alpha = 0.9$ eV. Los valores reportados para el cobalto puro son $K\alpha = 7.4$ y $L\alpha = 0.78$ eV, el desplazamiento de señales podría ser atribuido a la emisión simultánea de rayos X característicos emitidos también por el oxígeno y por trazas de cloro presentes en la muestra.

Para el oxígeno se presenta una sola banda intensa y característica en 0.8 keV [8]. Esta energía corresponde a la emisión $K\alpha$ y para el oxígeno puro tiene un valor de 0.525 eV. La diferencia sugiere también que la interacción de los rayos X emitidos de forma simultánea por el cobalto ocasionan este desplazamiento.

Como se observa en el mismo espectro hay trazas de cloro, estas impureza no afectan la reacción reducción del óxido de cobalto a cobalto metálico y esto es confirmado con el espectro mostrado en la Figura 3 b), donde la impureza de cloro no se encuentra presente en la muestra, la cual solo está constituida por partículas de cobalto metálico. La impureza puede ser atribuida un remanente de la reacción de obtención del óxido de cobalto.

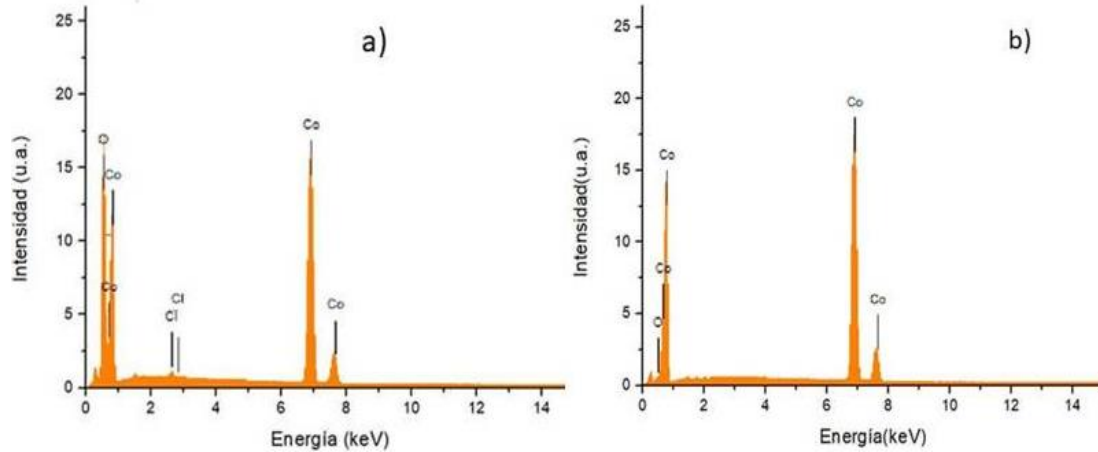


Figura 3: Gráficas de análisis elemental obtenidas por EDS de la muestra a) Co_3O_4 y b) Co

El espectro de difracción de rayos X que se muestra en la Figura 4, exhibe los planos cristalográficos pertenecientes al óxido de cobalto (Co_3O_4) que lo identifican las señales con planos cristalográficos (220), (311), (222), (400), (422), (511), (440) en las posiciones de $2\theta=31.27$, 36.85 , 38.63 , 44.80 , 55.66 , 59.40 y 65.22 , respectivamente [9]. Así por el análisis de EDS se identificaron el oxígeno y el cobalto, mientras que la técnica de XRD muestra el orden cristalográfico. Algunas síntesis muestran señales que corresponden a una mezcla de óxidos presentes en las muestras (incluyendo CoO), sin embargo en el difractograma de la Figura 4 solamente se identificaron los picos correspondientes al Co_3O_4 , en consecuencia la síntesis reportada permitió obtener un compuesto con buena pureza.

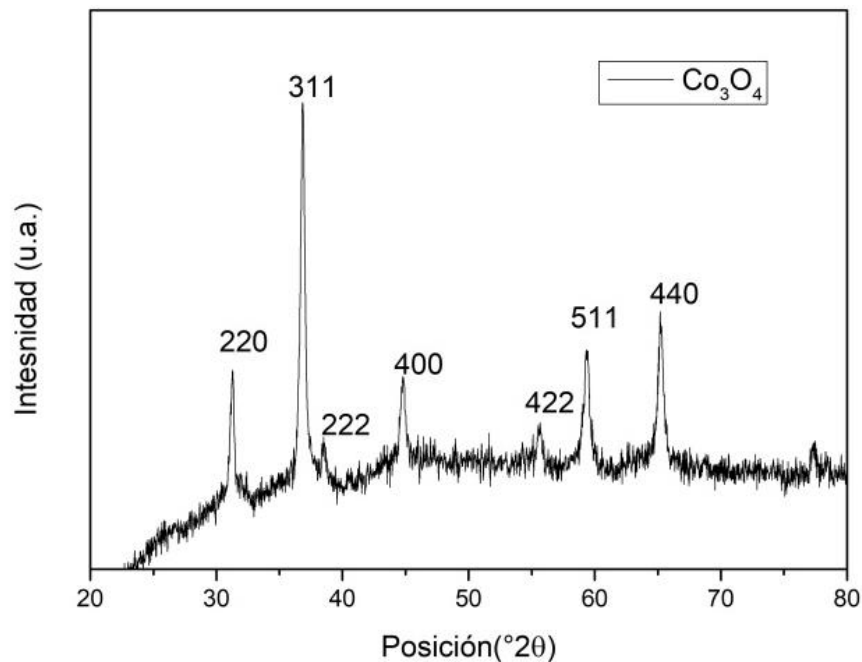


Figura 4: Espectro de difracción de rayos X del Co_3O_4

Los resultados de microscopia electrónica de transmisión se pueden observar en la Figura 5. En la Figura 5 A) son mostradas las nanopartículas de óxido de cobalto obtenidas en la etapa 1, presentando un diámetro de 15 a 30 nm con forma aproximadamente esférica. Las partículas tienen un diámetro que se encuentra por debajo del promedio reportado como se observa en resumen mostrado en la Tabla 1. Obtener un diámetro pequeño de las partículas del óxido de cobalto es importante porque al realizar la reacción de reducción a partículas de cobalto metálico, también el diámetro será menor. El diámetro de los nanotubos de carbono depende del diámetro de la partícula de cobalto sobre la cual se van depositando y organizando los átomos de carbono. Como consecuencia un diámetro pequeño de las partículas de cobalto producirá también nanotubos de carbono con diámetro menor y esto incrementará la actividad catalítica.

Tabla 1. Resumen de diámetro de partículas obtenidas por otros autores

Autor	Síntesis	Diámetro	Referencia
Lakra	Precipitación	100 nm	[9]
Rasheed	Extracción natural	50-100 nm	[10]
Manigandana	Hidrotermal	1-2 μ m	[11]

En la micrografía 5 B) se observa el catalizador obtenido en la etapa 2 formado por la partícula de cobalto metálico en el interior de un nanotubo de carbono. En la misma micrografía se puede apreciar que los nanotubos de carbono obtenidos son del tipo de pared múltiple y además están libres de impurezas de otras partículas carbonáceas como grafito. El diámetro exterior de los nanotubos de carbono depende del número de capas que constituyen en nanotubo, siendo en este caso aproximadamente de 20 nm. Además se pueden apreciar algunos defectos en el nanotubo de carbono.

Las micrografías 5 C) y 5 D) muestran una sección transversal de los nanotubos de carbono de pared múltiple con mayor detalle. En la Figura 5C) se puede observar que el espesor de pared del nanotubo de carbono no es homogéneo, mostrando por ejemplo en la parte inferior un espesor de 21 nm, mientras que en la parte superior el espesor de pared es de 18 nanómetros. Esto supone que el nanotubo de carbono de pared múltiple presenta defectos en su estructura química. Una consecuencia podría ser debida a una súbita aglomeración de átomos de carbono producidos por la desintegración del polímero, generando fragmentos que tienen cadenas de varios átomos de carbono. El movimiento de translación y rotación irregular de estos segmentos sugiere que también el arreglo de capa sobre capa sea irregular.

En la Figura 5 D) puede observar un nanotubo de carbono de pared múltiple con diámetros interior y exterior menores al de la Figura 5c), esto sugiere que se obtuvo una distribución de diámetros de nanotubos de carbono y que pertenecen al tipo de abiertos en un extremo.

Se puede observar también que los nanotubos de carbono presentan un diámetro igual o ligeramente mayor al de las partículas del óxido de cobalto. Durante la reacción de reducción, las partículas de cobalto metálico deberían de ser más pequeñas que las partículas del óxido. Esto puede ser atribuido a que la temperatura de la reducción de óxido de cobalto a cobalto metálico produce una aglomeración de las partículas pequeñas de cobalto. Este proceso es denominado sinterizado, durante el cual las partículas pequeñas de cobalto metálico se unen y producen

partículas mas grandes denominadas secundarias. Por consecuencia se producen nanotubos de carbono de mayor diámetro, disminuyendo la actividad catalítica por el decremento del área superficial. El proceso de sinterizado tambien puede ser atribuido a alta temperatura y tiempo largo de crecimiento de los nanotubos de carbono de acuerdo a lo descrito por Lin y colaboradores en su trabajo [12].

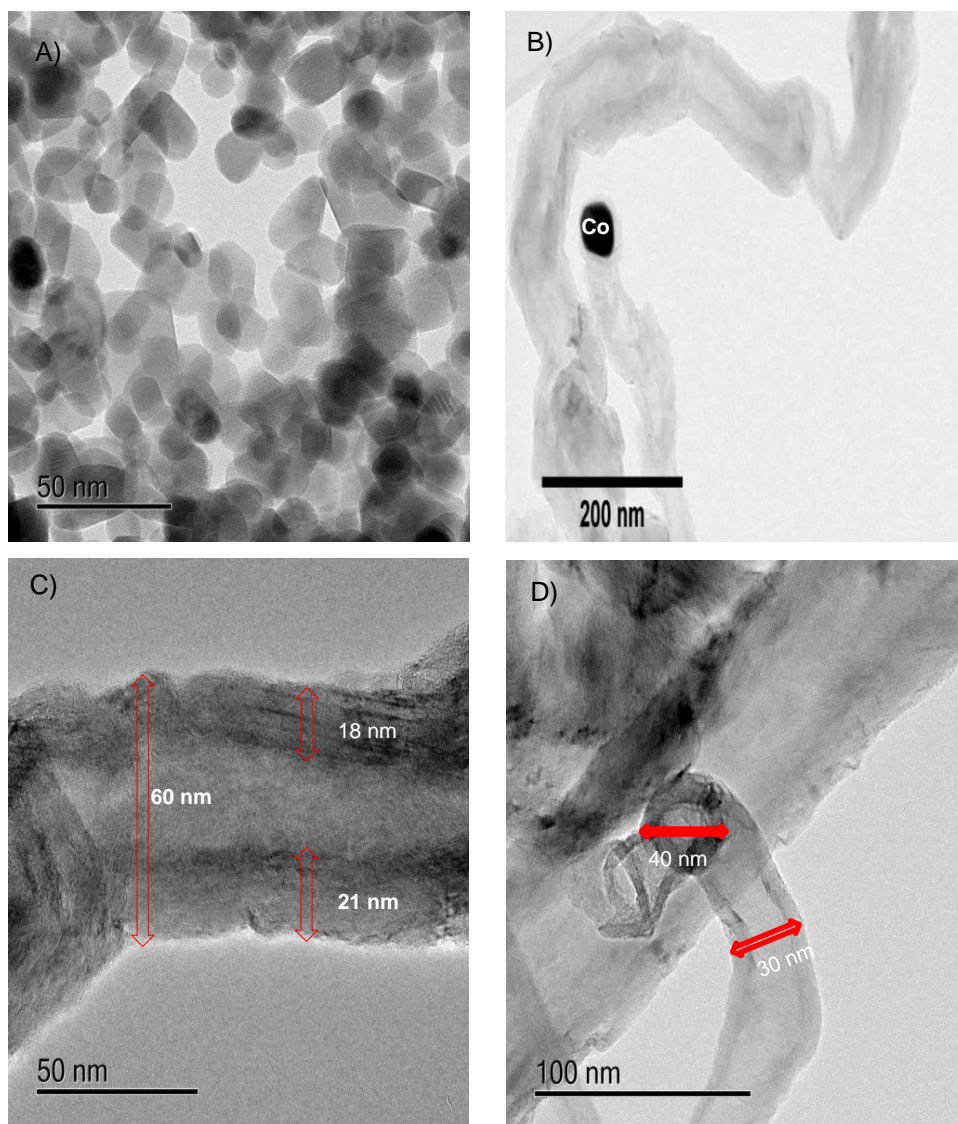


Figura 5: Micrografías obtenidas por HRTEM a) Co_3O_4 , b) NTC formado sobre nano partícula de cobalto, c) NTC con diámetro de 60 nm, d) NTC con diámetro de 40 nm

Trabajos a futuro

Se realizará la síntesis de la descomposición de la glicerina para conocer el rendimiento y porcentaje de conversión de los alcoholes de interés utilizando el catalizador de Co/NTC y determinar su factibilidad.

Agradecimientos

Se agradece a los encargados de los equipos de caracterización EDS y TEM de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA-UAT), al Dr. Juan Carlos Díaz Guillen de Corporación Mexicana de Investigación en Materiales (COMIMSA) por realizar los análisis XRD y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Conclusiones

En la primera etapa se obtuvieron nanopartículas precursoras de óxido de cobalto constituidas elementalmente por O y Co determinados por EDS mientras que por XRD se determinó que la estructura cristalina corresponde únicamente a óxido de cobalto (Co_3O_4). El tamaño de partícula del Co_3O_4 varía entre 15 a 30 nm y su forma presentada es esférica, como fue observada por TEM.

En la segunda etapa se obtuvo el catalizador formado por las nanopartículas de cobalto metálico en el interior de los nanotubos de carbono (Co/NTC). Los nanotubos de carbono presentaron pared múltiple y un diámetro aproximado de 30 nm, como fue analizado por TEM. El tamaño y pureza de las nanopartículas metálicas del cobalto y los nanotubos de carbono son adecuados para efectuar la reacción de descomposición de la glicerina.

Referencias

- [1] S. Bhowmik and S. Darbha, "Advances in solid catalysts for selective hydrogenolysis of glycerol to 1,3-propanediol," *Catal. Rev. - Sci. Eng.*, vol. 63, no. 4, pp. 639–703, 2021.
- [2] S. T. S. Veras, P. Rojas, L. Florencio, M. T. Kato, and J. L. Sanz, "1,3-Propanediol production from glycerol in polyurethane foam containing anaerobic reactors: performance and biomass cultivation and retention," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 27, no. 36, pp. 45662–45674, 2020.
- [3] X. L. Wang, J. J. Zhou, J. T. Shen, Y. F. Zheng, Y. qin Sun, and Z. L. Xiu, "Sequential fed-batch fermentation of 1,3-propanediol from glycerol by *Clostridium butyricum* DL07," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 104, no. 21, pp. 9179–9191, 2020.
- [4] F. F. Martins, V. da S. S. Liberato, C. M. S. Ribeiro, M. A. Z. Coelho, and T. F. Ferreira, "Low-cost medium for 1,3-propanediol production from crude glycerol by *Clostridium butyricum*," *Biofuels, Bioprod. Biorefining*, vol. 14, no. 5, pp. 1125–1134, 2020.
- [5] A. D. da Silva Ruy, R. M. de Brito Alves, T. L. Reis Hower, D. de Aguiar Pontes, L. S. Gomes Teixeira, and L. A. Magalhães Pontes, "Catalysts for glycerol hydrogenolysis to 1,3-propanediol: A review of chemical routes and market," *Catal. Today*, vol. 381, no. June, pp. 243–253, 2021.
- [6] A. Varma, A. S. Mukasyan, A. S. Rogachev, and K. V. Manukyan, "Solution Combustion Synthesis of Nanoscale Materials," *Chem. Rev.*, vol. 116, no. 23, pp. 14493–14586, 2016.

- [7] X.-D. Wang, K. Vinodgopal, and G.-P. Dai, "Synthesis of Carbon Nanotubes by Catalytic Chemical Vapor Deposition," *Perspect. Carbon Nanotub.*, pp. 1–19, 2019.
- [8] S. A. Sardjono and P. Puspitasari, "Synthesis and characterization of cobalt oxide nanoparticles using sol-gel method," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2231, no. April, pp. 1–5, 2020.
- [9] R. Lakra, R. Kumar, D. Nath Thatoi, P. Kumar Sahoo, and A. Soam, "Synthesis and characterization of cobalt oxide (Co₃O₄) nanoparticles," *Mater. Today Proc.*, vol. 41, no. xxxx, pp. 269–271, 2021.
- [10] T. Rasheed, F. Nabeel, M. Bilal, and H. M. N. Iqbal, "Biogenic synthesis and characterization of cobalt oxide nanoparticles for catalytic reduction of direct yellow-142 and methyl orange dyes," *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, vol. 19, p. 101154, 2019.
- [11] C. S. Transactions *et al.*, "Cobalt Oxide Nanoparticles: Characterization and its Electrocatalytic Activity towards Nitrobenzene," *Chem. Sci. Trans.*, vol. 2, no. S1, pp. 47–50, 2013.
- [12] J. Lin, Y. Yang, H. Zhang, F. Li, G. Huang, and C. Wu, "Preparation of CNT–Co@TiB₂ by catalytic CVD: Effects of synthesis temperature and growth time," *Diam. Relat. Mater.*, vol. 106, no. March, 2020.

Efecto del ultrasonido y contenido de sólidos sobre la estabilidad de extractos de col morada

C. A. Ortiz-Sánchez¹, M. P. Rascón-Díaz¹, E. Flores-Andrade¹, M. Castillo-Morales¹, E. Bonilla-Zavaleta^{1*}

¹Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Prol. Oriente 6, Orizaba, Veracruz, 94340, México.

*enbonilla@uv.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

La col morada es una fuente importante de antioxidantes, siendo los compuestos de tipo fenólico los principales (antocianinas y polifenoles). Las antocianinas son un grupo de fitoquímicos que se encuentran relativamente en grandes concentraciones en col morada. Con frecuencia, los pigmentos presentes en alimentos sufren graves degradaciones durante el procesamiento, y la restauración del color perdido es una forma de mantener el aspecto de fresca de los alimentos. Por lo tanto, el objetivo de este proyecto fue evaluar el efecto del tipo de homogenización y concentración de sólidos sobre la estabilidad oxidativa de extractos acuosos de col morada. Los resultados mostraron que la homogenización con ultrasonido es el mejor proceso para mejorar la extracción de antioxidantes. Asimismo, la concentración de sólidos al 30% ejerce un efecto significativo en la protección de polifenoles, antocianinas e inhibición del radical DPPH.

Palabras clave: Col morada, antioxidantes, homogenización, goma arábiga.

Abstract

Red cabbage is an important source of antioxidants, the main ones being phenolic-type compounds (anthocyanins and polyphenols). Anthocyanins are a group of phytochemicals found in relatively large concentrations in red cabbage. Pigments in foods are often severely degraded during processing, and restoring lost color is one way to keep foods looking fresh. Therefore, the objective of this project was to evaluate the effect of the type of homogenization and solid concentration on the oxidative stability of aqueous extracts of purple cabbage. The results showed that homogenization with ultrasound is the best process to improve the extraction of antioxidants. Likewise, the concentration of solids at 30% exerts a significant effect on the protection of polyphenols, anthocyanins, and inhibition of the DPPH radical.

Key words: Red cabbage, antioxidants, homogenization, Arabic gum.

Introducción

La col morada (*Brassica oleracea* var. Capitata) es originaria del área mediterránea. Se trata de una verdura de hojas compactas, de característico color morado intenso debido a la presencia del pigmento antocianina. Existen gran cantidad de especies (380 géneros y más de 3.000 especies), entre las que se encuentra las coles de Bruselas, el brócoli y la coliflor. Su sabor es parecido al de la col y pertenece a la familia de Crucíferas; también es conocida como col lombarda, col roja, repollo rojo [1]. De acuerdo con la composición química de esta crucífera, se ha reportado que ejerce efecto protector frente a diversos padecimientos, entre los cuales se encuentran varios tipos de cáncer y tumores relacionados con el tracto gastrointestinal. Así, la col morada se ha convertido en una nueva alternativa para la extracción de antioxidantes [2]. La col morada es una verdura que puede ser consumida de manera fresca, es rica en antioxidantes, los cuales son sustancias que retrasan, previenen o eliminan el daño oxidativo (efectos de los radicales libres) de una molécula [3].

Existe un gran interés en el efecto antioxidante de la dieta humana y de los suplementos dietarios; muchos estudios han asociado a las dietas basadas en frutas y verduras con un contenido de antioxidantes de moderado a alto [4]. Por lo que se recomienda el consumo de alimentos, que ayuden a controlar los radicales libres, como los llamados alimentos funcionales que pueden mejorar la salud y contrarrestar algunas enfermedades [5]. Debido a que estos compuestos presentan características antioxidantes y, por consiguiente, son susceptibles a procesos de deterioro en presencia de factores ambientales tales como la luz, temperatura, oxígeno, etc., es de gran importancia el uso de metodologías que permitan retardar su degradación. Para poder ofrecer esta protección 1) se necesita implementar estrategias que mejoren la extracción de compuestos bioactivos realizando estudios con ultrasonido y 2) estudio de variables adicionales (contenido de sólidos totales) que permitan una mejora en la protección de las propiedades antioxidantes de los alimentos procesados previamente.

En este sentido, el método de extracción por ultrasonido es un proceso en el que influyen un cierto número de parámetros. Además, estos están intrínsecamente relacionados con el procesador ultrasónico, tales como la frecuencia, longitud de onda, y la amplitud de la onda, la energía ultrasónica y la consiguiente intensidad tienen también un efecto sobre el proceso y puede ser optimizada. En la última década, las técnicas no térmicas tales como alta presión hidrostática, pulso de campo eléctrico, y el ultrasonido, proporcionan mayor seguridad microbiana y reducen al mínimo la degradación de los polifenoles en los jugos de frutas [6].

Esta tecnología emergente se ha utilizado como alternativa a las operaciones de procesamiento de alimentos convencionales para el control de la microestructura y la modificación de características de textura de productos grasos, emulsificación, antiespumante, la modificación de las propiedades funcionales de diferentes proteínas, la inactivación o aceleración de la actividad enzimática para mejorar la vida útil y calidad de los productos alimenticios, inactivación microbiana, congelación, descongelación, secado por congelación y la concentración, el secado así como también facilitar la extracción de los diversos componentes de los alimentos y bioactivos [7].

Estos compuestos bioactivos presentes en alimentos, son altamente inestables debido a que pueden degradarse durante el procesamiento y almacenamiento, así como por efecto de diferentes condiciones ambientales como la humedad relativa, pH y la temperatura [8]. Por lo que, es de gran importancia el uso de materiales que ejerzan un efecto protector a compuestos sensibles a estos ambientes como es el caso de la goma arábiga [9]. Dentro de las características estructurales y químicas de la goma arábiga se puede mencionar que es un heteropolisacárido de alto peso molecular (D-galactosa unida por enlaces β -1,4 y β -1,6), y debido a su carácter anfílico le permite interactuar con superficies lipofílicas y actuar como un protector coloidal formador de cápsulas y películas [10].

Por todo lo anterior, es de gran importancia realizar este tipo de investigación debido a que no existen reportes en los que se evalúen antioxidantes extraídos a partir de la col morada, utilizando la metodología del ultrasonido para generar sistemas acuosos, así como el estudio del efecto protector de la goma como coloide, que ayude a retener los compuestos antioxidantes durante el almacenamiento.

En este sentido, en este trabajo se evaluó 1) el efecto del proceso de homogenización sobre la estabilidad oxidativa de extractos acuosos de col morada, comparando dos métodos de homogenización; a) un procesador ultrasónico y b) un homogenizador convencional a 2,500 rpm, así como 2) el efecto que ejerce un protector coloidal en función de la concentración de sólidos. Estas propuestas de análisis fueron almacenadas a 4 y 25 °C y a partir de estas condiciones fueron generados los resultados.

Metodología

Materiales

La materia prima (col morada) fue obtenida en un mercado local de Orizaba, Veracruz; para su conservación se resguardó envuelta con papel de estraza, dentro de una bolsa de plástico, durante el lapso de transporte al laboratorio. Para realizar los análisis, la col morada fue mantenida en refrigeración hasta su uso para reducir la pérdida de atributos de calidad. Para la selección de la muestra se contemplaron aspectos visuales que demostraron la ausencia de daños físicos que pudieran ser causa de variación en los análisis realizados. Los reactivos utilizados en este trabajo fueron agua tridestilada, etanol absoluto, reactivo de Folin-Ciocalteu, reactivo 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), HCl concentrado, carbonato de sodio (99.5 %), cloruro de potasio (KCl), acetato de sodio ($\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$) (Aldrich, México).

Preparación de extractos acuosos preliminares

Las infusiones se prepararon en vasos de precipitado, a los cuales se les adicionaron 200 mL de agua tridestilada y calentando en una parrilla eléctrica (Thermolyne Barnstead-Cimarec 2) a una temperatura regulada de 95°C. Una vez alcanzada la temperatura se agregaron 25 y 50 g de col morada finamente picada con anterioridad, dejando a ebullición por 30 y 60 min. La extracción de antioxidantes sólido-líquido se llevó a cabo utilizando relaciones 1:4 y 1:8 p/v. Las muestras fueron filtradas con uso de vacío en matraz kitazato y embudo büchner (usando una bomba generadora de flujo de aire para realizar el vacío) y con ayuda de papel filtro whatman N° 1.

La Tabla 1 muestra las condiciones de extracción de las muestras preliminares.

Tabla 1. Condiciones de extracción preliminares a 95°C

Tiempo (min)	Proporción
30	1:4 p/v (50 g de col morada + 200 mL de agua destilada).
	1:8p/v (25 g de col morada + 200 mL de agua destilada).
60	1:4p/v (50 g de col morada + 200 mL de agua destilada).
	1:8p/v (25 g de col morada + 200 mL de agua destilada).

Preparación de la solución acuosa con procesador ultrasónico

Para la preparación de la solución se utilizaron 150 mL de agua destilada y 50 g de col morada finamente picada. Tomando en cuenta que los resultados preliminares mostraron una mejor extracción sólido/líquido utilizando una relación 1:4 en comparación con la relación 1:8 p/v, esa relación fue utilizada en lo sucesivo. Esta solución acuosa fue procesada ultrasónicamente a diferentes niveles de amplitud (40, 60 y 80%) equivalentes a 300, 450 y 600 W de potencia (Cole-Parmer CPX750, USA). Para evaluar las mejores condiciones del proceso de extracción, se realizó el análisis a 3 tiempos de exposición (5, 10 y 15 minutos). En la Tabla 2 se muestran las condiciones de extracción utilizadas en este trabajo.

Tabla 2. Tiempo de exposición y potencia del proceso de extracción ultrasónica

Tiempo (min)	Potencia (W)
5	300, 450, 600
10	300, 450, 600
15	300, 450, 600

Determinación de antocianinas

El contenido de antocianinas monoméricas de los extractos acuosos se realizó por triplicado. Para esto, se mezclaron 1 mL de cada muestra con 4 mL de solución buffer KCl a pH de 1.0. Por otra parte, se realizó una dilución tomando 1 mL de extracto con la solución buffer de $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ a pH de 4.5. Se registraron los valores de la absorbancia de la muestra para su posterior cuantificación (UV-visible Thermo Scientific Evolution, 260 BIO). Se tomaron las lecturas de absorbancia tanto a 520 y 700 nm para ambas muestras diluidas con pH

1.0 y pH 4.5 para calcular el valor de A (ver ecuación 1). Las muestras diluidas se leyeron utilizando agua tridestilada como blanco [11].

$$A = (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH 1.0}} - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH 4.5}} \quad (1)$$

El contenido de antocianinas monoméricas (reportadas como cianidina-3-glucósido) en la muestra se obtuvo a partir de la ecuación 2.

$$\text{Antocianina monomérica (mg/L)} = (A * MW * FD * 1000) / (\epsilon * l) \quad (2)$$

Donde:

A= diferencia de absorbancias a diferentes pH.

MW= 449.2 g / mol = peso molecular de cianidina-3-glucósido.

ϵ = 26900 L/mol cm (coeficiente de extinción molar).

FD = factor de dilución.

l= longitud de la celda en cm.

Determinación de polifenoles totales

La cuantificación de polifenoles totales se realizó al extracto y a la solución extracto-protector coloidal. Para esto, se mezclaron 6 mL de agua tridestilada y 1 mL de extracto. Se realizaron diluciones seriales para este análisis (1mL de extracto con 500 μ L de Folin-Ciocalteu, homogenizado y reposo de 5 min bajo resguardo de la luz). Estas diluciones se mezclaron con 1.5 mL de solución acuosa de carbonato de sodio al 20% y agua tridestilada hasta un volumen final de 10 mL de solución. Se registraron los valores de absorbancia (700 nm) después de un periodo de reposo de 2 h. El contenido de polifenoles fue obtenido mediante el uso de una curva de calibración con ácido gálico. El contenido de polifenoles totales fue analizado en el extracto acuoso y en la solución extracto/protector coloidal homogenizada con los dos métodos bajo estudio.

Cuantificación de la actividad antioxidante

La medición de la actividad antioxidante se realizó tanto en el extracto de col morada, como en la solución de extracto/goma arábica durante el periodo de almacenamiento. Esta determinación se basó en la reducción de la concentración del radical libre estable 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), la cual es obtenida en función de la disminución de su absorbancia espectrofotométrica a 517 nm.

Actividad antioxidante con DPPH

La cuantificación de la actividad antioxidante se realizó utilizando la metodología reportada previamente [12]. De forma general, se preparó una solución madre del reactivo DPPH (0.1M) con etanol absoluto hasta un aforo de 100 mL. Esta mezcla se mantuvo en reposo (30 min) y se registró el valor de la absorbancia utilizando etanol absoluto como blanco.

Preparación de la dilución de la muestra

Se diluyeron 13.3 mL de la muestra a analizar en 100 mL de agua tridestilada a temperatura ambiente. De esta muestra se tomaron 2.5 mL y se mezclaron con 20 mL de etanol absoluto en un matraz volumétrico de 25 mL. La solución anterior se dejó reposar durante 20 min y se llevó a aforo. Se preparó un blanco, diluyendo 2.5 mL de agua tridestilada en etanol absoluto en matraz volumétrico de 25 mL. Posteriormente, se preparó la disolución a leer (1.5 mL de solución muestra con 1.5 mL de solución madre de DPPH) y se dejó en reposo durante 30 min. Se registró el valor de la absorbancia a 517 nm reportada en el espectrofotómetro. Se preparó un control diluyendo 1.5 mL del blanco en 1.5 mL de la solución de DPPH. Se esperó durante 30 min y se realizaron lecturas a 517 nm. Los valores de absorbancia fueron utilizados para determinar el % de inhibición. La captura de radicales libres de DPPH se calculó con la ecuación 3.

$$\% \text{ de captura de radicales DPPH} = (\text{Abs control} - \text{Abs muestra}) / (\text{Abs control}) \quad (3)$$

Preparación de la solución de protector coloidal/extracto

En un vaso de precipitado se pesó la goma arábica y se midió el volumen requerido de extracto de col morada para preparar la solución acuosa. Posteriormente, se prepararon soluciones de material/extracto sometidos a tres concentraciones diferentes de sólidos totales (10, 20, 30%), tomando en consideración el contenido de humedad de la goma arábica. Finalmente, se realizó la homogenización utilizando cada uno de los métodos.

Técnicas de homogenización

La homogenización de la solución material/extracto acuoso, se realizó por dos equipos diferentes: Un homogenizador convencional y un procesador ultrasónico (Modelo CPX750, Cole-Parmer, EUA). En la Tabla 3 se muestran las condiciones de homogenización utilizadas en los dos métodos.

Tabla 3. Condiciones de homogenización.

Homogenizador convencional	Procesador ultrasónico (Modelo CPX750, Cole-Parmer, EUA)
Velocidad de homogenización: 2500 rpm.	Amplitud utilizada: 80% (600 W).
Tiempo de exposición: 10 min.	Tiempo de exposición: 10 min.
Temperatura: 25 °C.	Temperatura: 25 °C.

Resultados y discusión

Selección de las condiciones de obtención de extractos de col morada.

En la preparación de los extractos acuosos preliminares se evaluó la concentración obtenida de polifenoles en mg EAG/L, variando la relación de muestra (col morada/agua destilada), sometidas a dos tiempos de extracción diferentes (30 y 60 min), los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Concentración de polifenoles en extractos preliminares.

Relación de la muestra	Tiempo (min)	Concentración de polifenoles (mg EAG/L)
1:4	30	376 ± 17.67 ^a
	60	409 ± 21.92 ^a
1:8	30	275 ± 17.67 ^b
	60	255 ± 24.00 ^b

Los resultados mostraron que la relación de muestra empleada tiene un efecto significativo en la extracción de polifenoles, siendo la relación 1:4 mas favorable. Adicionalmente, el tiempo de extracción no mostró un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de polifenoles en los extractos, por lo que el extracto obtenido con la relación de muestra de 1:4 y el tiempo de extracción de 30 min fue seleccionado para llevar a cabo la obtención de los extractos acuosos.

Con la finalidad de determinar las mejores condiciones de extracción y homogenización de la muestra se evaluó el contenido de polifenoles en extractos acuosos elaborados con la relación col morada/agua destilada de 1:4 y con procesamiento ultrasónico, empleando diferentes potencias (300, 450 y 600 W) y tiempos de exposición (5, 10 y 15 minutos), los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Efecto de la potencia y tiempo de procesamiento ultrasónico sobre la concentración de polifenoles en extractos acuosos de col morada.

Potencia (W)	Tiempo (min)	Concentración (mg EAG/L)
300	5	189.90 ± 6.85 ^a
	10	191.68 ± 19.39 ^a
	15	259.04 ± 10.85 ^b
450	5	196.49 ± 7.55 ^a
	10	264.60 ± 6.84 ^b
	15	283.78 ± 12.31 ^b
600	5	274.00 ± 14.60 ^b
	10	376.20 ± 9.78 ^c
	15	374.10 ± 11.71 ^c

La cantidad de polifenoles totales en los distintos extractos acuosos de col morada se encontró dentro de un intervalo de 189.9-376.2 mg de EAG/L. El análisis en el contenido de polifenoles mostró que hubo una mayor extracción de compuestos antioxidantes al incrementar tanto la potencia del procesamiento ultrasónico como el tiempo de exposición. El mayor contenido de polifenoles se encontró en los extractos procesados a una potencia de 600W y tiempos de exposición de 10 y 15 min, siendo estos significativamente diferentes al resto de los tratamientos. El contenido de polifenoles en estos dos tratamientos fue mayor que el reportado Schulz et al., [13].

Con base en los resultados obtenidos se seleccionaron las condiciones de procesamiento ultrasónico de 600W y 10 min de exposición para la elaboración del extracto, mismo que utilizó para la elaboración de las soluciones extracto/protector coloidal.

Estabilidad de las soluciones extracto/protector coloidal

Se utilizó goma arábica como material protector para la preparación de soluciones de extracto/protector coloidal, para lo cual se evaluaron dos métodos de homogenización (ultrasonido y convencional) y tres concentraciones diferentes de sólidos totales (10, 20, 30%).

El efecto del metodo de homogenización y contenido de solidos totales sobre la estabilidad de los polifenoles en las soluciones almacenadas a diferentes temperaturas (4 y 25 °C) se muestra en la Figura 1.

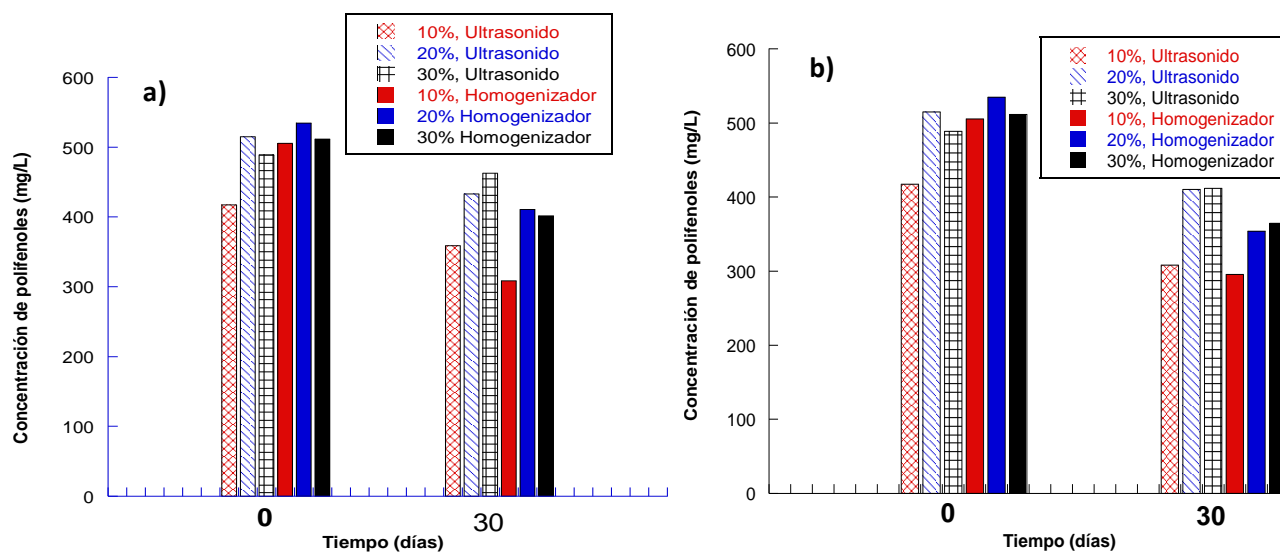


Figura 1. Efecto del metodo de homogenización (procesador ultrasónico y homogenizador convencional) y contenido de sólidos totales sobre la concentración de polifenoles en soluciones extracto/protector coloidal durante su almacenamiento a temperaturas de a) 4 y b) 25 °C.

Los resultados mostraron que independientemente del contenido de sólidos totales, las soluciones de extracto/protector coloidal fueron más estables cuando se homogenizaron con la ayuda del procesador ultrasónico en comparación con las homogenizadas convencionalmente.

Por otra parte, la concentración de sólidos totales tuvo un efecto significativo sobre la degradación de polifenoles en las diferentes soluciones de extractos de col morada/protector coloidal. Se encontró que el incremento de sólidos totales propicia una mayor retención de polifenoles, observando que la protección se da en el siguiente orden 30 > 20 > 10 respectivamente, presentándose la menor degradación en las soluciones elaboradas al 30% de sólidos totales, utilizando el método de homogenización de ultrasonido en comparación con las otras muestras.

El uso de las tecnologías ultrasónicas para homogenizar y formular soluciones acuosas ricas en antioxidantes mejoran la retención de polifenoles, y la concentración de sólidos ejerce un efecto significativo, obteniéndose una concentración de 488 mg EAG/L en las soluciones elaboradas al 30% de sólidos totales y almacenadas a 4°C y una concentración de 401.609 mg EAG/L en las soluciones elaboradas al 30% de sólidos totales y almacenadas a 25°C. Lo cual es 5 veces mayor que la concentración reportada para el cacao con un 75.5 mg/g [14]. Estos resultados muestran que la col morada es una buena fuente de polifenoles, en comparación con el fruto zarzamora a dos niveles de maduración y previamente reportado [13].

Concentración de antocianinas monoméricas

La degradación de la concentración de antocianinas se muestra en la Figura 2, evaluada respecto al tiempo de almacenamiento a una temperatura de 4 °C y 25 °C utilizando tres concentraciones de sólidos diferentes en las soluciones acuosas, sometidos a dos métodos diferentes de homogenización: un equipo ultrasónico y un homogenizador convencional.

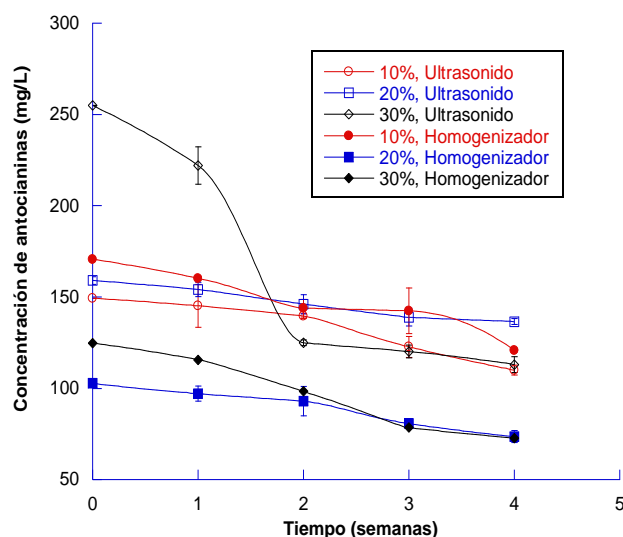


Figura 2. Efecto del método de homogenización (procesador ultrasónico (○ □ ◇) y homogenizador convencional (● ■ ◆) y contenido de sólidos totales sobre la concentración de antocianinas en soluciones extracto/protector coloidal durante su almacenamiento a temperaturas de a) 4 y b) 25 °C.

El estudio de degradación de antocianinas mostró que el mejor método de homogenización es utilizando el equipo ultrasónico, considerando una concentración de sólidos de 20 y 10% se obtiene mayor estabilidad de antocianinas; el uso del 30% de sólidos demostró mayor degradación, mientras que una concentración de 20% de sólidos en las soluciones acuosa es capaz de mantener mejor estabilidad con mayor proporción en la concentración de antocianinas. La col morada mostró una concentración de antocianinas de 149.46 para un 10% de sólidos, 159.06 un 20%, 254.87 mg/L de cianidina-3-glucósido para un 30% de sólidos totales.

Variación de actividad antioxidante

En la Figura 3 se muestra la variación de actividad antioxidante (% de inhibición) de la col morada, respecto a al tiempo de almacenamiento (4 semanas), a una temperatura de 4 y 25 °C, con tres concentraciones diferentes de sólidos en las soluciones acuosas, utilizando dos métodos de homogenización; un procesador ultrasónico y un homogenizador convencional.

Los resultados obtenidos muestran que el proceso de homogenización que ejerce mayor estabilidad en la actividad antioxidante es utilizando el procesador ultrasónico a una temperatura de 4 °C, mostrando menor degradación usando una concentración de sólidos al 10 y 30%, los cuales presentaron una actividad antioxidante de 30.06 y 35.85 respectivamente.

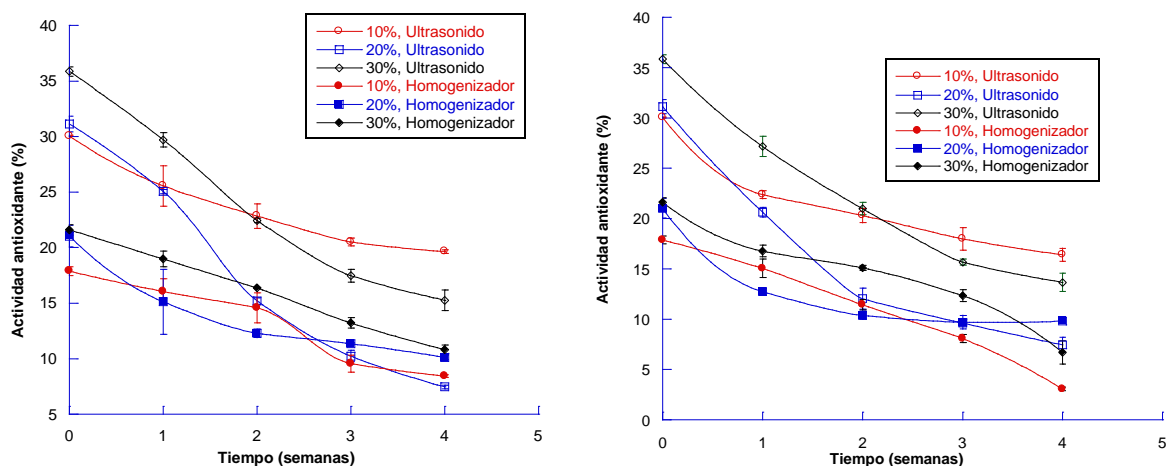


Figura 3. Variación de la actividad antioxidante (%) con respecto al tiempo de almacenamiento a 4 y 25 °C, utilizando un procesador ultrasónico (○ □ ◇) y un homogenizador convencional (● ■ ◆).

El método de homogenización empleando el procesador ultrasónico genera mayor rendimiento de actividad antioxidante usando mayores proporciones de protector coloidal 30 >20>10%, por lo que la concentración de sólidos totales ejerce efecto en la estabilidad de la actividad oxidativa, obteniendo como resultado una actividad antioxidante de 35.85 y 31.16 % respectivamente.

Conclusiones

Los resultados mostraron que el uso de la goma arábiga como protector coloidal, protege a los antioxidantes durante el almacenamiento utilizando el proceso de homogenización con ultrasonido. La concentración de sólidos utilizada en cada proceso ejerce protección en función del parámetro evaluado siendo mayor el efecto a contenidos de sólidos más altos. Sin embargo, para el caso de la actividad antioxidante evaluada a 4 y 25 °C, se observa que al utilizar 10% de sólidos totales genera una mayor actividad con respecto a los demás tratamientos. En este trabajo se demostró que la retención y estabilidad de los antioxidantes presentes en los extractos acuosos se logra almacenándolos a 4 °C.

Referencias

- [1] Beltrán. Estudio de la estabilidad y conservación de extractos acuosos y etanólicos usados como indicador ácido-base a partir de col morada (*Brassica Oleracea*), jamaica (*Hibiscus Sabdariffa*), quelite (*Amaranthus Hybridus L.*) y rosa royal william (*Rosa Sp.*). Tesis Profesional, Universidad Veracruzana, México. 105 p. 2011.
- [2] Hussein M. A., Wafaa A., Mona N. and Rashidi A. Antiradical and reductant activities of anthocyanidins and anthocyanins, structure-activity relationship and synthesis. *Food Chemistry* 194: 1275-1282, 2015.
- [3] Ugartondo-Casadevall V. Caracterización de derivados polifenólicos obtenidos de fuentes naturales.

- Citotoxicidad y capacidad antioxidante frente a estrés oxidativo en modelos celulares. Tesis Doctoral, Departamento de Fisiología, Universidad de Barcelona, España. 141 p. 2009.
- [4] Arbayza F. J., Ruiz R. S., Venegas C. E., Ruidias R. D. y Cosavalente B. K. Capacidad antioxidante del zumo y de los extractos hidroalcohólico y acuoso obtenidos de *Punica granatum* y su relación con el contenido de polifenoles. *Pharmaciencia* 2(2): 50-55, 2014.
- [5] Mosquera O.M., Niño J., Correa Y. M. y Buitrago D. C. Estandarización del método de captura de radicales libres para la evaluación de la actividad antioxidante de extractos vegetales. *Scientia et Technica* 1(27): 231-234, 2005.
- [6] Galván D'A. L. and Dimitrov K. Kinetics of ultrasound assisted extraction of anthocyanins from *Aronia melanocarpa* (black chokeberry) wastes. *Chemical Engineering Research and Design* 92(10): 1818-1826, 2014.
- [7] Awad T. S., Moharram H. A., Shaltout O. E., Asker D. and Youssef M. M. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food. *Food Research International* 48: 410-427, 2012.
- [8] Verruck S., Santana F., Olivera M., and Schwinden P. Thermal and water sorption properties of *Bifidobacterium* BB-12 microcapsules obtained from goat's milk and prebiotics. *LWT- Food Science and Technology* 98: 314-321, 2018.
- [9] Niebla B. L. Evaluación de encapsulamiento de compuestos de sabor en matrices de almidón. Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, Querétaro, México. 97p, 2009.
- [10] Lopera C. M. S., Guzmán O. C., Cataño R. C. y Gallardo C. C. Desarrollo y caracterización de micropartículas de ácido fólico formadas por secado por aspersión, utilizando goma arábiga y maltodextrina como material de pared. *Vitae* 16(1): 55-65, 2009.
- [11] Durst R. y Wrolstad R. E. Separation and Characterization of Anthocyanins by HPLC. In *Handbook of Food Analytical Chemistry* 33-45 p, 2001.
- [12] Marinova G. and Batchvarov V. Evaluation of the methods for determination of the free radical scavenging activity by DPPH. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 17(1): 11-24, 2011.
- [13] Schulz, M., Seraglio, S., Della Betta, F., Nehring, P., Valesse, A., Daguer, H., and Fett, R. Blackberry (*Rubus ulmifolius* Schott): Chemical composition, phenolic compounds and antioxidant capacity in two edible stages. *Food Research International* 122: 627-634, 2019.
- [14] Gil Q. J. A. Estabilidad y actividad antioxidante de catequinas presentes en cacaos colombianos durante los procesos de pre e industrialización. Tesis de Maestría, Universidad de Antioquia, Medellín. 119 p, 2012.

Concentración y cambio de color del jugo de melón (*Cucumis melo*) utilizando tecnología de ventana refractiva

B. Hernández-Santos¹, J. G. Torruco-Uco¹, J. Rodríguez-Miranda¹, E. Ramírez-Figueroa¹

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Calzada Dr. Víctor Bravo Ahúja, No. 561, Col. Predio el Paraíso, Tuxtepec, Oaxaca, C.P. 68350, México.

* enrique.rf@tuxtepec.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Se utilizó la tecnología de ventana refractiva para la concentración de jugo de melón. Se utilizó un evaporador cuya superficie de intercambio de calor es una película de Mylar® colocada en el fondo del evaporador. Se obtuvieron cinéticas de concentración de lotes de jugo a 80,90 y 95°C hasta alcanzar los 65 °brix. Se determinó el contenido de humedad, sólidos totales (ST), cambio de color y pH en función del tiempo. La humedad del jugo se redujo de 14.4 gH₂O/gss a 9.53, 7.33 y 6.41% b.s. y los ST se incrementaron desde 6.5 hasta 9.5, 12.9 y 13.5 gH₂O/gss a temperaturas de 80, 90 y 95°C respectivamente, después de dos horas de proceso. El incremento en luminosidad no supera en los tres casos las 4 unidades, por lo que es poco probable que sea perceptible al ojo humano. El pH no se vio afectado significativamente por la temperatura.

Palabras clave: jugo, melón, ventana refractiva, concentración

Abstract

Refractive window technology was used for melon juice concentration. An evaporator was used whose heat exchange surface is a Mylar® film placed at the bottom of the evaporator. Concentration kinetics were obtained from batches of juice at 80,90 and 95°C until reaching 65°brix. Moisture content, total solids (TS), color change and pH were determined as a function of time. The moisture of the juice was reduced from 14.4 gH₂O/gss to 8.09, 6.41 and 3.76% b.s. at temperatures of 80, 90 and 95°C respectively. TS increased from 6.5 to 11, 13.5 and 21 gH₂O/gss at temperatures of 80, 90 and 95°C respectively. The increase in luminosity does not exceed 4 units in all three cases, so it is unlikely to be perceptible to the human eye. The pH did not vary significantly.

Key words: juice, melon, refractive window, concentration

Introducción

El consumo de jugos de fruta es beneficioso para la salud ya que poseen un 70-95 % de agua, son alimentos libres de colesterol y presentan antioxidantes naturales, que les confieren un atractivo especial a los consumidores, pero su mayor importancia, desde el punto de vista nutricional, es su aporte a la dieta de vitaminas, minerales, enzimas y fibra [1,2].

Sin embargo, los responsables del valor sensorial y nutricional de estos productos, son termosensibles y el uso de tratamientos inapropiados para la concentración puede provocar pérdidas considerables de vitaminas, el deterioro del color, del aroma y del sabor [3]. Esto redefine el concepto de calidad e involucra, además de las características de la fruta, los métodos que se emplean en su producción y comercialización porque utilizar tratamientos inapropiados para producir los jugos puede provocar pérdidas de vitaminas [4], deteriorar el color [4,5,6], el aroma [7] y el sabor de los productos [6,8].

Para evaporar alimentos líquidos se pueden utilizar varios tipos de evaporadores. Al elegir un tipo particular de evaporador, la calidad de los alimentos, la capacidad de evaporación y la energía / costo son consideraciones importantes. Los sistemas de evaporación de corta duración a alta temperatura, así como los evaporadores de corto tiempo acelerados térmicamente, donde los productos se calientan a una temperatura máxima de 90-105 °C en unos pocos segundos, son actualmente el método preferido en la industria de los cítricos para concentrar jugos sensibles al calor [7, 8, 9].

La industria de procesamiento de jugos también depende de la recuperación y el retorno de volátiles (o esencia) para mantener la calidad de los jugos después de la concentración en evaporadores de película descendente multiefectos (ME).[4] Los procesadores de mediana a pequeña escala generalmente prefieren evaporadores de tipo recirculación por lotes porque no pueden permitirse las grandes inversiones asociadas con los evaporadores ME que operan bajo vacío. Sin embargo, los evaporadores de tipo recirculación por lotes tienden a exponer los alimentos líquidos a altas temperaturas durante largos períodos de tiempo, lo que resulta en productos de baja calidad. Este problema empeora cuando se produce el ensuciamiento de las superficies del evaporador porque el ensuciamiento reduce la velocidad de transferencia de calor al producto líquido.

El objetivo de este estudio fue determinar las cinéticas de concentración (incremento de sólidos totales) y de evolución de color del jugo de melón (*Cucumis melo*), utilizando la tecnología de ventana refractiva. Se diseñó y construyó un nuevo tipo de evaporador que utiliza la tecnología de ventana refractiva (RW por sus siglas en inglés) [5,11,12,13]. En este dispositivo se utiliza una película de Mylar® (DuPont Polyester Film Enterprise, Wilmington, DE), con propiedades que facilitan la transferencia de calor entre el medio de calentamiento y los alimentos líquidos. El sistema utiliza agua a temperatura controlada, generalmente a 90-95 °C, para transportar energía térmica a través de la interfaz de Mylar para concentrar productos fluidos que están contenidos en un cilindro de PVC sanitario de pared gruesa en cuyo fondo se encuentra la película de Mylar.

Metodología

Materia prima

Los frutos de melón (*Cucumis melo*) que se utilizaron en este proyecto fueron adquiridos en el mercado local de la ciudad de San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca. Los frutos presentaron grados de madurez adecuados para la obtención de jugo (figura 1) y se determinó el contenido de sólidos solubles (°Brix) mediante un refractómetro manual (Reichert, Model AR200, USA) con un rango de medición de 0–90 °Bx y 0.2 °Bx de resolución. Las frutas fueron lavadas y peladas a mano. La pulpa fue molida mediante un procesador de alimentos. No se agregó ningún tipo de conservador ni antioxidante.

Dado que la pulpa molida contenía diferentes tamaños de partículas y fibras, se realizó una homogeneización del tamaño de partículas mediante tamizado (malla 100 y 200). El jugo clarificado así obtenido fue conservado en envases cerrados y al abrigo de la luz en refrigeración hasta su utilización que no debía exceder de una hora. La figura 2 muestra el proceso de obtención del jugo de melón.

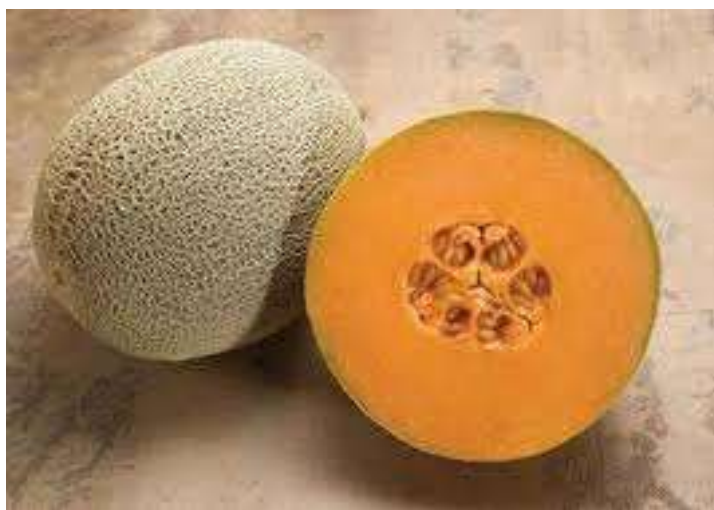


Figura 1. Aspecto de uno de los frutos de melón utilizados



Figura 2. Proceso de obtención del jugo de melón clarificado utilizado en las cinéticas de concentración.

Equipo de evaporación experimental

El equipo de evaporación que se utilizó en este proyecto funciona en modo por lotes y consta de un cuerpo cilíndrico de un litro de capacidad. El evaporador cuenta con un sistema de agitación de velocidad controlada y permite la aplicación de vacío mediante una bomba. El fondo del evaporador ha sido diseñado para permitir la colocación de una película plástica de Mylar® (DuPont Polyester Film Enterprise, Wilmington, DE), la cual es transparente a la radiación infrarroja.

La parte inferior del evaporador se coloca sobre un baño de agua con agitación y temperatura regulada. El evaporador permite la toma de muestras para la determinación del pH, color y grados Brix durante el proceso de evaporación. Los gases que se desprenden durante la evaporación pueden ser condensados y regresados al concentrado al final de la evaporación para reducir la pérdida de aromas. El evaporador puede funcionar como equipo independiente o utilizarse para preconcentrar alimentos fluidos antes de secarse.

El uso de agua caliente para transferir energía térmica de esta manera es exclusivo de la evaporación RW y las temperaturas del producto rara vez superan los 70 °C debido al enfriamiento por evaporación. El agua de proceso que circula rápidamente aumenta el coeficiente de transferencia de calor en el lado agua-película, mientras que una agitación moderada del producto y un sistema de vacío permite la evacuación el agua evaporada.

Dado que la lámina de Mylar es muy delgada (aproximadamente 0,2 mm) alcanza el equilibrio térmico con el agua de proceso casi de forma inmediata. La energía térmica del agua caliente se transmite a través de ella por conducción y radiación en proporciones dependiendo de la resistencia que proporcione a estos mecanismos de transferencia de calor. La lámina de Mylar permite la transmisión de energía infrarroja con las longitudes de onda que coinciden con los espectros de absorción de las moléculas de agua en los alimentos líquidos. Esta transmisión infrarroja es importante porque permite una evaporación rápida a baja temperatura y compensa con creces la baja conductividad térmica del plástico (0,155 W / m K en comparación con 15 W / m K para el acero inoxidable). La figura 3 muestra el proceso de construcción de los evaporadores.



Figura 3. Aspectos de los materiales y etapas de construcción del evaporador utilizado en este estudio.

La disposición de los evaporadores para la determinación de las cinéticas de concentración se observa en la figura 4.



Figura 4. Aspecto de la disposición de los evaporadores construidos durante el proceso de concentración de jugo de melón.

Determinación de las cinéticas de concentración

Para determinar las cinéticas de concentración y calcular las velocidades de evaporación, se tomaron muestras de 15 mililitros a intervalos regulares durante los procesos de concentración y hasta alcanzar los 65°Brix. A cada muestra se le determinarán los grados Brix, pH, color y sólidos totales. Al inicio y final de la concentración se determinó el contenido de sólidos totales del concentrado.

Color

El color de las muestras de jugo concentrado se determinó mediante un colorímetro Hunter Lab tristimulus (Ultrascan-VIS, Hunter laboratory, Model USVIS1347, Hunter Association labs, Inc., Reston, Virginia, USA). Se obtuvieron los valores L^* (Luminosidad), a^* (cromaticidad rojo-verde) y b^* (cromaticidad amarilla/azul).

Determinación del pH

El pH se determinó conforme a la Norma Mexicana NMX-F-317-S-1978, utilizando un potenciómetro Corning Modelo 430 equipado con un electrodo combinado y calibrado con buffers de pH=4.0 y pH=7.0

Análisis estadísticos

Los datos obtenidos se evaluaron mediante un análisis de varianza de una vía con un nivel de significancia del 95%. En todos los casos se realizó una comparación de medias por el método de mínima diferencia significativa de Fisher (LSD, por su acrónimo en inglés) para establecer las diferencias entre los tratamientos. Todos estos análisis se efectuaron utilizando el paquete computacional Minitab® 17.

Resultados y discusión

Evolución del contenido de humedad y sólidos totales del jugo de melón

La evolución del contenido de humedad (%bs) y del contenido de sólidos (ST) del jugo de melón se muestra en la figura 5. Se puede observar que el contenido de humedad inicial del jugo de melón fue de 14.4 gH₂O/gss y que después de dos horas de proceso el contenido de humedad final fue de 8.09, 6.41 y 3.76 a temperaturas de 80, 90 y 95°C respectivamente. En la misma figura se aprecia que el contenido de sólidos totales se incrementó desde un contenido inicial de 6.5 hasta contenidos finales de 11, 13.5 y 21 gH₂O/gss en ese mismo lapso de tiempo. Como era de esperarse, el contenido de humedad disminuyó más rápidamente cuando se empleó la temperatura de 95°C. Los resultados mostraron que el contenido de sólidos se incrementó aproximadamente un 30% durante la primera hora de proceso a las tres temperaturas, posteriormente el contenido de sólidos totales se incrementó marcadamente más rápido a la temperatura de 95°C. En la tabla 6 se observa que la temperatura mostró un efecto significativo a partir de los 90 minutos de proceso. Sin embargo, el tiempo de proceso si tuvo un efecto significativo para cada nivel de temperatura utilizado.

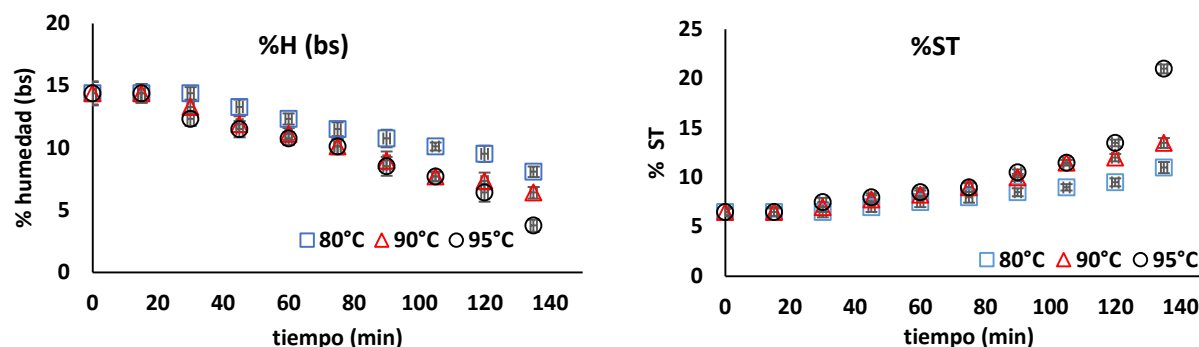


Figura 5. Evolución del contenido de humedad (%bs) y del contenido de sólidos totales (ST) del jugo de melón

Tabla 1. Efecto del tiempo de proceso y la temperatura sobre el contenido de sólidos del jugo de melón.

	tiempo (min)			
	30	60	90	120
80 °C	6.5 ± 0.2 ^{aA}	7.5 ± 0.4 ^{aB}	8.5 ± 0.5 ^{aC}	9.5 ± 0.2 ^{aD}
90 °C	7.0 ± 0.3 ^{aA}	8.2 ± 0.5 ^{aB}	10.0 ± 0.4 ^{bC}	12.0 ± 0.3 ^{bD}
95 °C	7.5 ± 0.3 ^{aA}	8.5 ± 0.3 ^{aB}	10.5 ± 0.2 ^{bC}	13.5 ± 0.4 ^{cD}

*Por columnas, letras minúsculas iguales significa que no hay diferencia significativa. Por filas, letras mayúsculas iguales significa que no hay diferencia significativa ($p < 0.05$)

Velocidad de evaporación del jugo de melón

La figura 6 muestra la velocidad de pérdida de humedad del jugo de melón en función de la temperatura de proceso. Las cinéticas mostradas omiten los 30 minutos iniciales de proceso de concentración. Se ajustó un modelo lineal a las zonas rectas de las cinéticas. Las pendientes de las líneas representan la velocidad de evaporación. Como se puede observar en la tabla 2, la temperatura de proceso tiene un efecto significativo sobre la velocidad de evaporación. La velocidad más elevada ocurrió a 95°C (0.076 gH₂O/gss.min). Resultados similares han sido reportados durante la concentración de jugos de mora utilizando un evaporador con tecnología de ventana refractiva [11]. En dicho trabajo se reportó que el incremento de la temperatura de proceso, la velocidad de flujo y la aplicación de vacío contribuyen a aumentar el intercambio de energía térmica durante la evaporación con RW. En el mismo estudio también se observó que la velocidad de evaporación al inicio del proceso o cuando se mezcla jugo semi-concentrado con jugo sin tratar la velocidad de evaporación fue de 0.012 +/- 0.002 gH₂O/gss.min. El valor reportado es muy inferior a la velocidad de evaporación que se determinó en este trabajo. Para corregir el problema de la baja velocidad de evaporación durante los primeros minutos del proceso, se puede precalentar la alimentación.

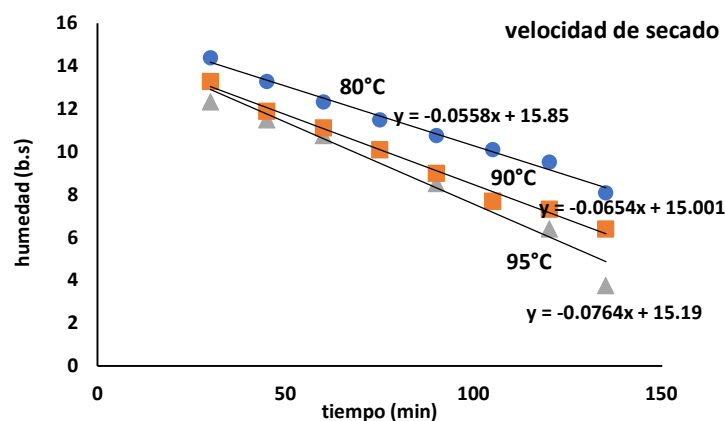


Figura 6. Velocidad de pérdida de humedad del jugo de melón en función del tiempo de proceso y las temperaturas utilizadas.

Tabla 2. Efecto de la temperatura sobre la velocidad de secado del jugo de melón después de 30 minutos de proceso.

Temperatura (°C)	Velocidad de secado (g H ₂ O /min)
80	0.056 ± 0.01 ^a
90	0.065 ± 0.02 ^b
95	0.076 ± 0.03 ^c

*Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

Evolución del color del jugo de melón

La figura 7 muestra la evolución del parámetro L (luminosidad) del jugo de melón. Se puede observar un ligero incremento de la luminosidad en los tres casos. En el caso de la temperatura de 95°C este incremento se presenta desde los primeros minutos, mientras que en las otras dos temperaturas la luminosidad se incrementa conforme aumenta la concentración de sólidos. El incremento en luminosidad no supera en los tres casos las 4 unidades, por lo que es poco probable que sea perceptible al ojo humano.

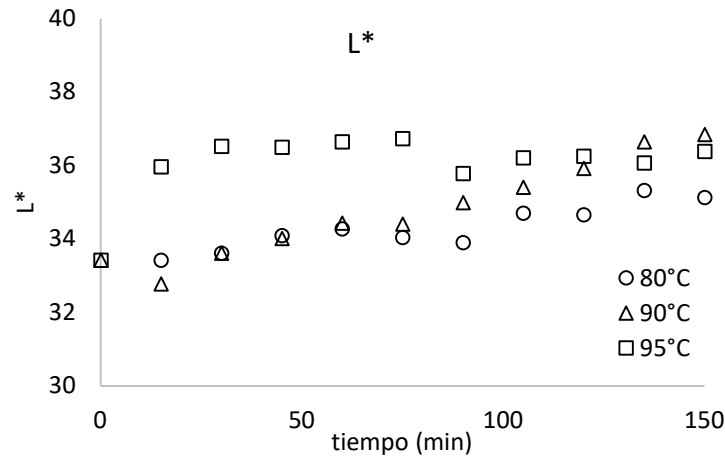


Figura 7. Evolución del parámetro de color L (luminosidad) del jugo de melón en función del tiempo de proceso y las temperaturas utilizadas.

Las mismas tendencias se observan para los parámetros a^* y b^* (figuras 8 y 9 respectivamente). Se puede observar que los jugos tienden a ser más rojos y amarillos conforme aumenta el tiempo de proceso. En ambos casos los cambios si pueden ser apreciados por el ojo humano debido al incremento de dichos parámetros. Lo anterior es evidente en la figura 10. Trabajos similares de concentración de purés de fresas con la tecnología RW [14] han mostrado que dicha tecnología tiene un impacto limitado sobre la percepción general del aroma y color de puré de fresas, siendo comparables en color con otros procesos de concentración. Otros trabajos han demostrado que el color de los jugos reconstituidos después de su concentración con RW fueron similares o mejores a productos procesados por otros métodos de concentración. [15]

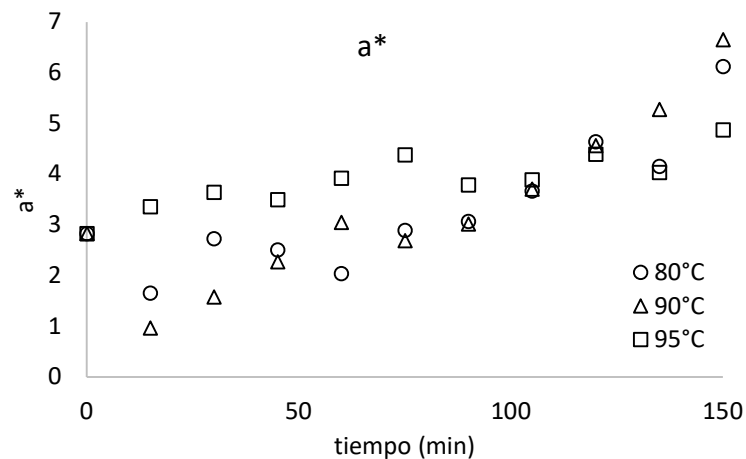


Figura 8. Evolución del parámetro de color a^* (coordenada roja/verde) del jugo de melón en función del tiempo de proceso y las temperaturas utilizadas.

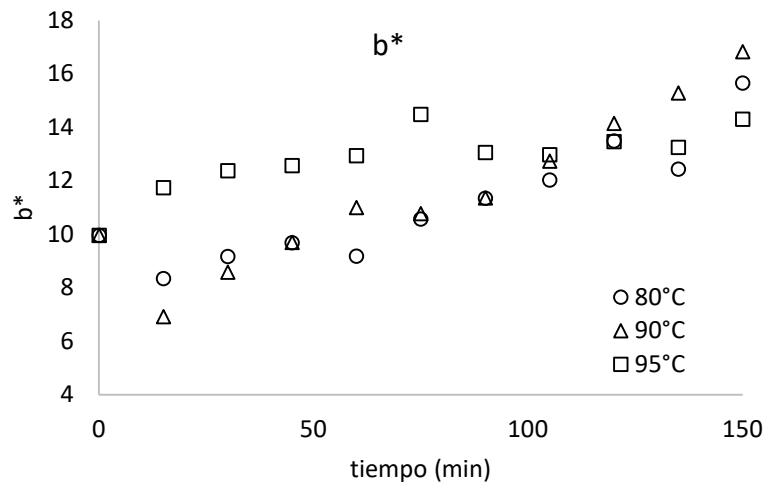


Figura 9. Evolución del parámetro de color b^* (coordenada amarillo/azul) del jugo de melón en función del tiempo de proceso y las temperaturas utilizadas.



Figura 10. Aspecto de las muestras del jugo de melón en función del tiempo de proceso (de arriba abajo y de izquierda a derecha, intervalos de 15 min) y de la temperatura utilizada (80°C izquierda, 90°C centro y 95°C derecha)

Evolución del pH durante el proceso de concentración

La figura 11 muestra la evolución de pH en función del tiempo de proceso. Se puede observar que el pH no muestra una variación significativa en función de la temperatura utilizada. Sin embargo, el pH desciende aproximadamente 1.7 unidades durante el tiempo que duró el proceso de concentración. Se observó una diferencia significativa entre el pH inicial y final de los jugos concentrados a las tres temperaturas utilizadas. Algunos autores han reportado que los jugos concentrados por procesos térmicos presentan un pH mas bajo que los jugos concentrados por otros procesos como la crioconcentración, donde se utiliza baja energía térmica. Estos autores [16] reportan que el pH del jugo de granada concentrado por procesos térmicos presenta una reducción del pH de cerca de 10% del valor inicial, mientras que procesos menos agresivos provocan una reducción de solo el 2%. Lo anterior es muy importante ya que los cambios en las características sensoriales, especialmente el color de los jugos concentrados esta relacionado con los cambios de pH, degradación e los azucares y los efectos térmicos.

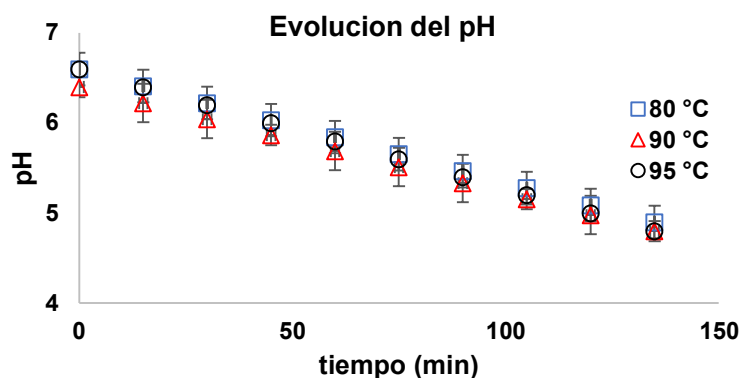


Figura 11. Evolución de pH del jugo de melón en función del tiempo de proceso.

CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos se puede afirmar que los evaporadores construidos permiten la evaporación del jugo de melón de manera satisfactoria, por lo que pueden ser utilizados en el estudio de la concentración de líquidos alimenticios utilizando la tecnología de ventana refractiva. Los evaporadores construidos permitieron incrementar el contenido de sólidos en un 30% en promedio, durante la primera hora de proceso. El estudio del color permite deducir que el jugo tiende a ser más rojo y amarillo que el jugo natural debido al incremento de sólidos, sin embargo, no se realizó la medición de los parámetros L , a^* y b^* del jugo reconstituido para saber si hubo cambios debido al tratamiento térmico o a reacciones químicas tipo Maillard. No se observó una diferencia significativa en el valor del pH final de los jugos concentrados a las temperaturas utilizadas. La velocidad de deshidratación (concentración) fue significativamente más elevada a 95°C, sin embargo, esto solo fue evidente después de los 30 minutos de proceso.

Trabajo a futuro

El trabajo a futuro contempla la evaluación sensorial de los jugos reconstituidos para conocer la aceptación por parte de los consumidores. Se tiene contemplado la elaboración de un helado natural a partir de los jugos concentrados y la determinación de los compuestos nutricionales posterior a la concentración y la elaboración del helado. También se contempla la utilización de este tipo de jugo para su combinación con otros jugos concentrados como el jugo de papaya y mango, para obtener productos novedosos y nutritivos. Finalmente se ajustará un modelo matemático a las cinéticas de concentración para correlacionar el contenido de sólidos con el tiempo de proceso.

Agradecimientos

El autor reconoce el apoyo del **Tecnológico Nacional de México** para la realización de este proyecto

Referencias

- [1] G. Rajauria & B. K. Tiwari. Fruit Juices. Fruit Juices, 3–13, 2018.
- [2] Rodríguez-Arzave J. A., Florido-Aguilar A. L., Hernández-Torres M. A. Determinación de parámetros fisicoquímicos en jugos de frutas cítricas. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 5 pp. 233-238 2020.
- [3] A. Adnan., M. Mushtaq, & Islam, T. ul. Fruit Juice Concentrates. Fruit Juices, pp. 217–240, 2018.
- [4] S. Dhawan, K. Suman Processing of specific fruit and vegetables juices. Beverages: Processing and Technology. Scientific Publishers. Chpt 4. 9387991725, 9789387991729, 2018.
- [5] N. Bernaert, B. Van Droogenbroeck, E. Van Pamel, & H. De Ruyck. Innovative refractance window drying technology to keep nutrient value during processing. Trends in Food Science & Technology, 2018.
- [6] W. L., Kerr, Food Drying and Evaporation Processing Operations. Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering, pp. 353–387, 2019.
- [7] A. R. Al-Hilphy, H. I Ali, S. A. Al-Iessa., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., & Gavahian, M. Optimization of process variables on physicochemical properties of milk during an innovative Refractance Window concentration. Journal of Food Processing and Preservation, 2020.
- [8] X. Sun, E. A Baldwin, Plotto, A., Manthey, J. A., Duan, Y., & Bai, J.). Effects of thermal processing and pulp filtration on physical, chemical and sensory properties of winter melon juice. Journal of the Science of Food and Agriculture, no. 97, pp. 543–550, 2016.
- [9] A. Mohamadi Sani, Hedayati, G., & Arianfar, A.. Effect of temperature and concentration on density and rheological properties of melon (*Cucumis melo*L. var. *Inodorus*) juice. Nutrition & Food Science, no. 44, pp. 168–178, 2014.
- [10] C.I. Nindo J.Tang , & J. R. Cakir E. & Powers . Potential of Refractance Window Technology for Value Added Processing of Fruits and Vegetables in Developing Countries. Portland, Oregon, July pp. 9-12, 2006.
- [11] C. I. Nindo, J. R.Powers, , & Tang, J. Influence of Refractance Window evaporation on quality of juices from small fruits. LWT - Food Science and Technology, no. 40 pp.1000–1007 207.
- [12] C. Acar, I. Dincer., & Mujumdar, A.. A comprehensive review of recent advances in renewable-based drying technologies for a sustainable future. Drying Technology, pp. 1–27 2002..
- [13] R. Waghmare.. Refractance window drying: A cohort review on quality characteristics. Trends in Food Science & Technology, 110, pp. 652–662 2021.
- [14] B.I. Abonyi, H.Feng, J.Tang C.G., Edwards, B.P.hew, D.S Mattinson, & J. K.Fellman J.K Quality retention of strawberry and carrot purees dried with refractance window system. Journal of Food Science, 6, pp. 1051-1056 2002.
- [15] V. Baeghbali, M. Niakousari, & Farahnaky, A. Refractance window drying of pomegranate juice: Quality retention and energy efficiency. LA.WT – Food Science and Technology, no.66, pp. 34-40 2016.
- [16] F.Khajehei, F., Niakousari, M. H, Eskandari,, & Sarshar, M. Production of Pomegranate Juice Concentrate by Complete Block Cryoconcentration Process. Journal of Food Process Engineering, no.38, pp. 488–498 2016.

Efectos del tratamiento térmico en partículas de ZnO en la eficiencia de degradación de colorantes

Montaño-Flores Betsie Sara Monserrat¹, Castillo-Palomera Roger², Ramírez-Morales Erik², Rojas-Blanco Lizeth^{2*}, Arellano-Cortaza Marcela del Carmen^{2*}

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Ciudad Universitaria, Ciudad de México 04510, Ciudad de México

²Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Avenida Universidad s/n Zona de la Cultura, Colonia Magisterial CP 86690 Villahermosa Centro Tabasco México

* lizethrb@gmail.com

* marce.are@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

En este trabajo se obtuvieron partículas de ZnO empleando la síntesis hidrotermal asistida por microondas, posterior a este proceso se realizó tratamiento térmico a 500°C durante 3 horas. Los materiales obtenidos se caracterizaron mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Espectroscopia UV-Vis y Análisis Termogravimétrico (TGA). Las partículas de ZnO exhibieron morfologías con granos semiesféricos bien definidos, brecha de energía de 3.2 eV y además los estudios de TGA revelaron que existe una ligera pérdida de peso del material debido a la eliminación de solventes o precursores presentes. Para la evaluación fotocatalítica de las partículas sintetizadas se utilizó el colorante Azul de Metileno como molécula modelo. Los resultados indican una baja actividad fotocatalítica en las partículas de ZnO con tratamiento térmico.

Palabras clave: ZnO, tratamiento térmico, fotocatalisis, azul de metileno.

Abstract

In this work, ZnO particles were obtained using microwave-assisted hydrothermal synthesis, after which heat treatment was performed at 500°C for 3 hours. The materials obtained were characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM), UV-Vis Spectroscopy, and Thermogravimetric Analysis (TGA). The ZnO particles exhibited morphologies with well-defined semispherical grains, an energy gap of 3.2 eV and TGA studies also revealed that there is a slight weight loss of the material due to the elimination of solvents or precursors present. For the photocatalytic evaluation of the synthesized particles, the Methylene Blue dye was used as a model molecule. The results indicate low photocatalytic activity in the heat-treated ZnO particles.

Key words: ZnO, thermal treatment, photocatalysis, methylene blue.

Introducción

Actualmente la contaminación de los depósitos de agua se ha visto en aumento debido a muchos factores, entre ellos, el crecimiento poblacional, el aumento en la demanda energética y la escasa cultura por la conservación ambiental por parte de la sociedad y de las industrias, ya que se hace un uso desmedido de este recurso tan importante para la vida en general [1-3].

Diversos tipos de contaminantes son vertidos en los efluentes, entre los que destacan una gran variedad de colorantes, fármacos e incluso sustancias derivadas de fenoles. Estas sustancias generan daño a la vida silvestre y repercuten de manera nociva a la salud pública [4-6]. Es tal la magnitud de esta problemática que la Asamblea General de la ONU declaró el periodo 2021-2030 como la "Década de la Restauración de Ecosistemas" [7] además, de acuerdo con el reporte de Müller [8], se proyecta que para el año 2050 el 70% de las cuencas hidrográficas presentarán problemas relacionados con el agua y más de cuatro mil millones de personas vivirán en ciudades con escasez de agua persistente o estacional.

Dentro de los factores que ponen en riesgo la disponibilidad del agua dulce se encuentra la eliminación de grandes cantidades de aguas residuales (sin un adecuado tratamiento) en los ríos, lagos, acuíferos y aguas costeras [9]. Por lo que la eliminación de estos contaminantes es un tema de investigación ampliamente desarrollado, sin embargo, aún se trabaja para la mejora de diversos materiales que ayuden a la degradación de diversas sustancias tóxicas.

Actualmente los Procesos Avanzados de Oxidación (AOP, por sus siglas en inglés) son ampliamente utilizados para eliminar productos tóxicos, presentes en las aguas residuales, debido a que pueden generar altas concentraciones de radicales hidroxilos ($OH\cdot$) y así completar la oxidación de muchos agentes contaminantes en dióxido de carbono, agua, ácido o sales minerales [10]. Dentro de la amplia gama de las AOP's podemos encontrar a los procesos de ozonización, Fenton, sonólisis, radiación, oxidación electroquímica, foto-Fenton y la fotocatalisis [11]. Esta última es uno de los procesos más empleados debido a que es muy amigable con el medio ambiente en comparación con las otras técnicas mencionadas, ya que en algunas de ellas se puede generar subproductos de igual o mayor toxicidad que los originales.

En particular, la fotocatalisis basada en semiconductores forma parte de las tecnologías emergentes que aborda los problemas energéticos y ambientales de una manera sostenible. Dentro de la gama de los fotocatalizadores basados en semiconductores, el óxido de zinc (ZnO) es uno de los fotocatalizadores con más potencial por su estabilidad química, mínima toxicidad y a su bajo costo [12], [13]. En este trabajo la obtención de los fotocatalizadores se llevó a cabo mediante la síntesis asistida por microondas, ya que es un método de síntesis que ha demostrado alta eficiencia de reacción debido al calentamiento volumétrico en la solución de reacción lo cual se traduce en tiempos de reacción muy cortos en comparación con los métodos que emplean el calentamiento convencional, y para la evaluación fotocatalítica se utilizó azul de metileno como molécula modelo.

Metodología

Materiales

Los precursores empleados en este trabajo fueron acetato de zinc dihidratado ($Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$, Sigma Aldrich), hidróxido de sodio ($NaOH$, Merck), etanol absoluto (C_2H_5OH , JT Baker) y agua desionizada. Todos los reactivos empleados en los experimentos realizados son de grado analítico y se usaron sin ninguna purificación adicional.

Síntesis de ZnO

Se preparó una solución 0.4 M $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ en un volumen de 50 ml de C_2H_5OH y cierta cantidad de agua desionizada, esta se mantuvo en agitación ultrasónica por 10 minutos. El pH inicial de trabajo fue de 8, este se ajustó añadiendo $NaOH$ (6 M). Después, la solución fue colocada en el reactor microondas Multiwave PRO con 400 W de potencia, durante 10 minutos, finalizado este proceso se eliminó el sobrenadante de la solución y se procedió a lavar las muestras en repetidas ocasiones con agua desionizada. Finalmente, las muestras de ZnO fueron puestas en un horno de secado a $80^\circ C$ por 12 horas.

Parte del material obtenido fue llevado a un horno tubular para llevar realizarle tratamiento térmico a $500^\circ C$ durante 3 horas con flujo de oxígeno. Las muestras analizadas fueron etiquetadas como ZnO y $ZnO500$, respectivamente.

Evaluación fotocatalítica

La eficiencia fotocatalítica de las partículas de ZnO fue evaluada empleando Azul de Metileno (AM) (10 ppm) como molécula modelo. Se empleó 80 ml de la solución y se añadió 24 mg de catalizador. Previo a la irradiación, la solución fue puesta en baño ultrasónico en oscuridad por 30 min, esto con la finalidad de alcanzar el equilibrio de adsorción-desorción.

La degradación fotocatalítica se llevó a cabo durante un periodo de 240 min, empleando una lámpara UV de 30 W de potencia, colocada 10 cm por encima del reactor. En periodos de 30 min una alícuota (5 ml aproximadamente) fue tomada de la solución y puesta en centrifugación, para separar las partículas de la

solución, y así monitorear cambios en la intensidad de la absorbancia de la banda principal del AM localizadas en ~665 nm.

La eficiencia de degradación se calculó empleando la ecuación 1 [14]:

$$ED(\%) = \frac{A_0 - A_t}{A_0} * 100 \quad (1)$$

Donde A_0 y A_t corresponden a la absorbancia inicial y al tiempo t del colorante, respectivamente.

Resultados y discusión

Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

La morfología de las partículas de ZnO se analizó con un microscopio electrónico de barrido JEOL JEM 2200FS, en modo LEI y un voltaje de aceleración de 5kV. En la Figura 1 se presentan las micrografías con una amplificación de 50000X. En ellas se puede observar que la morfología predominante en las partículas son granos semiesféricos, sin embargo, también presenta formaciones en forma de barras con facetas hexagonales. Para estimar el tamaño promedio de grano se utilizó el software DigitalMicrograph®, las dimensiones de las partículas están alrededor de 180 nm.

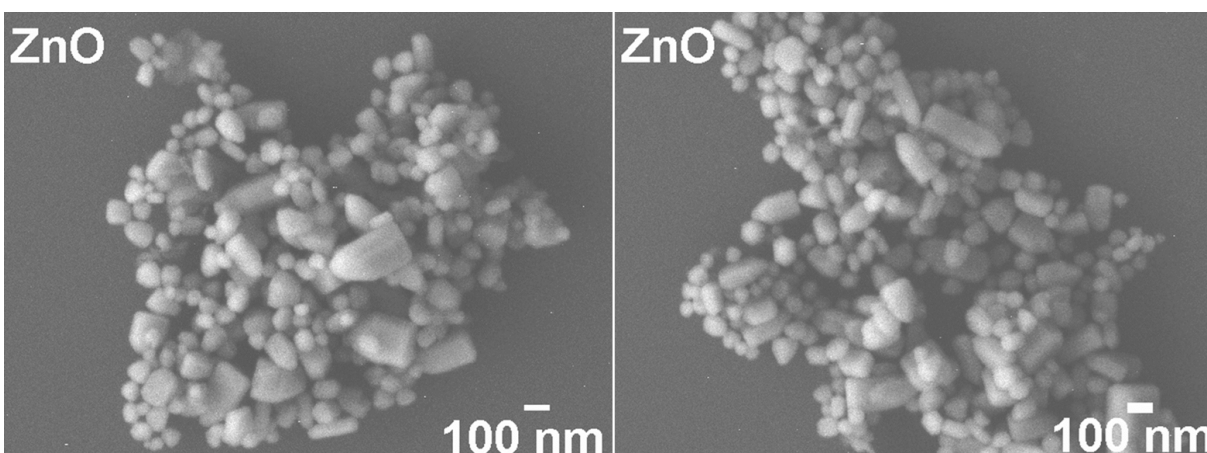


Figura 1. Micrografías MEB de las partículas de ZnO a 50000x.

Espectroscopia UV Vis

El análisis óptico de las muestras de ZnO se llevó a cabo empleando un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 9. Como se puede observar en la Figura 2, las partículas de ZnO sintetizadas por microondas exhiben un borde de absorción localizado en los 380 nm, lo cual es típico de este material [15]. La brecha de energía se calculó a partir de los datos de reflectancia difusa y utilizando la ecuación de Tauc (2) [16]:

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^n \quad (2)$$

Donde α es el coeficiente de adsorción, A es una constante y $n = \frac{1}{2}$ para semiconductores de transición directa. Mediante un ajuste lineal de las gráficas de $(\alpha h\nu)^2$ vs $(h\nu)$ (Recuadro de la Figura 2) el valor de E_g fue calculado. Las partículas de ZnO presentaron una brecha de energía de 3.22 eV.

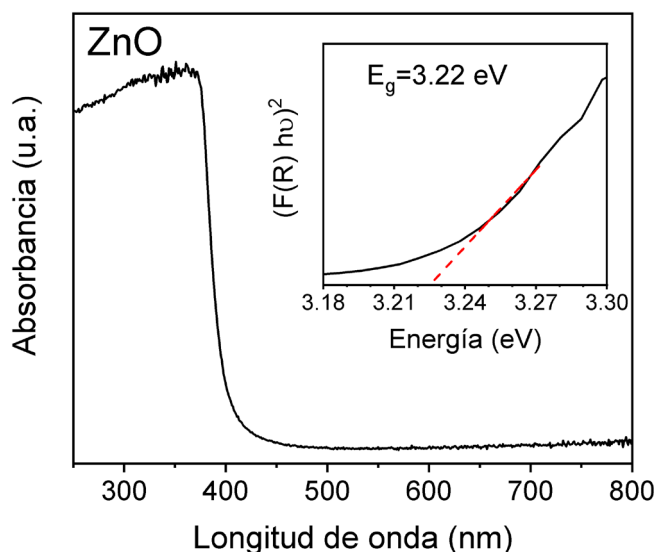


Figura 2. Espectro de absorción y gráfica de Tauc (Recuadro) de las partículas de ZnO.

Análisis termogravimétrico

Se utilizó un equipo Discovery SDT 650 para llevar a cabo el análisis termogravimétrico (TGA) y análisis térmico diferencial (DTA) de las partículas de ZnO. El análisis se llevó a cabo en una atmósfera de aire, con rango de temperatura de 25-900°C.

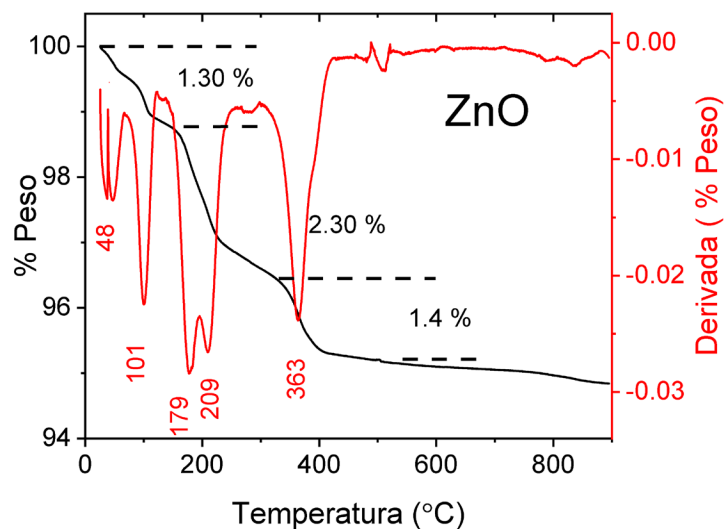


Figura 3. Gráficas TGA/DTA de las partículas de ZnO.

En la Figura 3 se observa que existe una pérdida de peso del 6% en las muestras de ZnO. La pérdida de humedad y solventes remanentes en la muestra se llevó a cabo a 101°C. En la gráfica de DTA existe un pico exotérmico en 363°C, el cual se puede atribuir a la disociación de los precursores, su reacción con O₂ y a la formación de CO₂ y H₂O [17]. Finalmente se observa una pérdida de peso del 1.4% alrededor de los 500°C, la cual está asociada a un proceso de cristalización del ZnO [18].

Actividad fotocatalítica

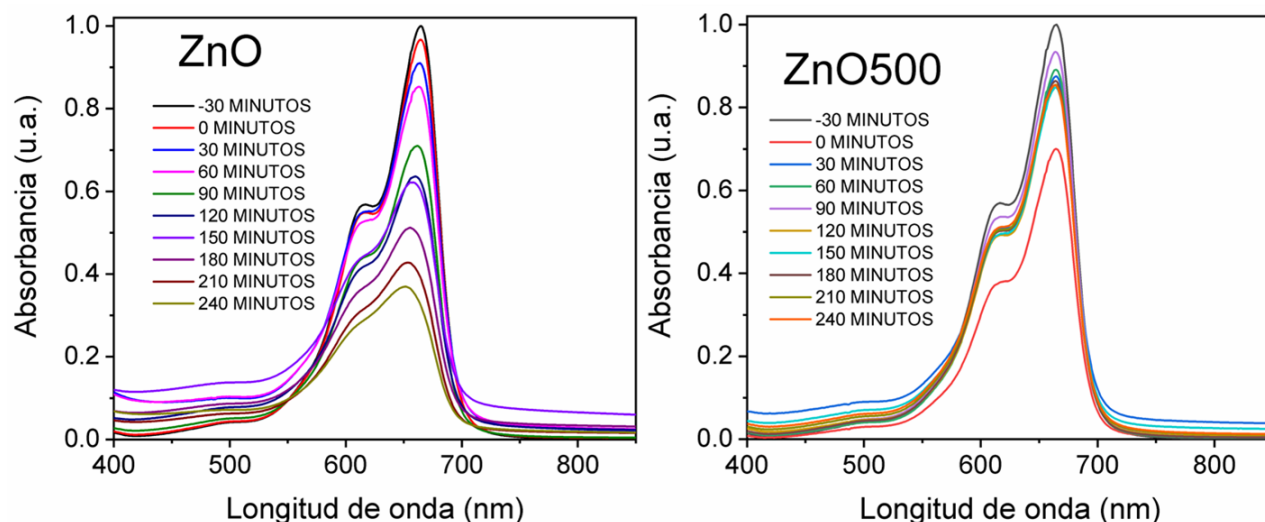


Figura 4. Espectros de absorción del AM, empleando partículas de ZnO sin tratamiento térmico (izquierda) y con tratamiento térmico de 500°C (derecha).

En la Figura 4 se presentan los espectros de absorción del AM, empleando como fotocatalizador partículas de ZnO sin tratamiento térmico y con tratamiento térmico (500°C). La muestra de ZnO exhibió un comportamiento favorable para la descomposición de la molécula contaminante. Se observa que, con el incremento del tiempo de radiación, la absorbancia del analito disminuye gradualmente, alcanzando un porcentaje de degradación del 68% con 240 minutos de radiación.

Por otro lado, la muestra ZnO500 presenta un comportamiento diferente al de las partículas de ZnO sin tratamiento térmico. De la Figura 4 (derecha) se observa que después de la etapa de adsorción-desorción, la absorbancia del analito disminuye significativamente, sin embargo, al iniciar el proceso de fotocatalisis (hasta los 90 min de radiación) la absorbancia va incrementando paulatinamente. Este fenómeno se puede relacionar con el proceso de desorción de la molécula del AM de la superficie y poros del fotocatalizador. Después de los 90 min de radiación, la absorbancia del AM disminuye ligeramente, alcanzando alrededor del 15% de degradación a los 240 min de iluminación.

El bajo desempeño fotocatalítico de la muestra ZnO500 se puede atribuir a los efectos del tratamiento térmico realizado, ya que se ha reportado que este proceso no solo promueve un proceso de recristalización en la estructura del ZnO [19-20], sino que también favorece el crecimiento de los granos en el material. Wanotayan [21], indica que este efecto se debe a la reducción de la energía superficial general. Con este posible incremento en el tamaño de los granos en la muestra ZnO500 el área superficial del fotocatalizador disminuye, lo cual impide que un mayor número de moléculas contaminantes se adsorban en la superficie del mismo, evitando así que las reacciones redox, responsables de la degradación de los contaminantes, se lleven de manera eficiente [22]. Si bien, en este trabajo, el tratamiento térmico eliminó el agua adsorbida en la superficie del material, así como de los remanentes del proceso de reacción, se observó que no favoreció para la degradación del AM.

Trabajo a futuro

Realizar las caracterizaciones estructurales, ópticas y morfológicas (DRX, MEB, Fisisorción de N₂, etc.) a la muestra de ZnO500, para conocer los cambios que el tratamiento térmico produce en el material. Analizar los efectos en las propiedades del semiconductor mediante la modificación de otros parámetros, por ejemplo: temperaturas, tiempos y gases utilizados en el proceso de tratamiento térmico. Se podría potencializar el efecto

adsorbedor de la muestra ZnO500 incorporando algún dopante o semiconductor en su estructura, no solo para este tipo de aplicación. Optimizar el efecto del ZnO con o sin tratamiento térmico versus uno comercial.

Conclusiones

Con la realización de este trabajo, se pudo obtener de manera exitosa polvos nanoestructurados de ZnO mediante la técnica de Microondas a una sola potencia (400W), con morfología bien definida que permite favorecer la degradación de contaminantes ya que, aunque no se determinó el área superficial del material, las formas esféricas de los granos, permiten mayor adsorción según lo ya reportado por otros autores. Con los tratamientos térmicos a las muestras a 500 C se observó que no resultan ser tan favorables en la degradación del contaminante Azul de metileno comparadas con las muestras que no fueron tratadas.

Referencias

- [1] O. J. Guerra and G. V. Reklaitis, "Advances and challenges in water management within energy systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 4009–4019, Feb. 2018, doi: 10.1016/J.RSER.2017.10.071.
- [2] P. J. Landrigan *et al.*, "The Lancet Commission on pollution and health," *The Lancet*, vol. 391, no. 10119, pp. 462–512, Feb. 2018, doi: 10.1016/S0140-6736(17)32345-0.
- [3] H. Zhen *et al.*, "Assessing the impact of wastewater treatment plant effluent on downstream drinking water-source quality using a zebrafish (*Danio Rerio*) liver cell-based metabolomics approach," *Water Res*, vol. 145, pp. 198–209, Nov. 2018, doi: 10.1016/J.WATRES.2018.08.028.
- [4] S. T. Khan and A. Malik, "Engineered nanomaterials for water decontamination and purification: From lab to products," *J Hazard Mater*, vol. 363, pp. 295–308, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.JHAZMAT.2018.09.091.
- [5] W. Duan, F. Meng, H. Cui, Y. Lin, G. Wang, and J. Wu, "Ecotoxicity of phenol and cresols to aquatic organisms: A review," *Ecotoxicol Environ Saf*, vol. 157, pp. 441–456, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.ECOENV.2018.03.089.
- [6] Z. Vryzas, "Pesticide fate in soil-sediment-water environment in relation to contamination preventing actions," *Curr Opin Environ Sci Health*, vol. 4, pp. 5–9, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.COESH.2018.03.001.
- [7] L. Piemontese *et al.*, "Estimating the global potential of water harvesting from successful case studies," *Global Environmental Change*, vol. 63, no. June, p. 102121, 2020, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2020.102121.
- [8] A. B. Müller, T. Avellán, and J. Schanze, "Risk and sustainability assessment framework for decision support in 'water scarcity – water reuse' situations," *J Hydrol (Amst)*, vol. 591, no. August, p. 125424, 2020, doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125424.
- [9] UNESCO, "No Title," 2021. WWW.UNESCO.ORG
- [10] M. Sievers, "Advanced Oxidation Processes," *Treatise on Water Science*, vol. 4, pp. 377–408, 2010, doi: 10.1016/B978-0-444-53199-5.00093-2.
- [11] D. Kanakaraju, B. D. Glass, and M. Oelgemöller, "Advanced oxidation process-mediated removal of pharmaceuticals from water: A review," *J Environ Manage*, vol. 219, pp. 189–207, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2018.04.103.
- [12] L. Li, X. Zhang, W. Zhang, L. Wang, X. Chen, and Y. Gao, "Microwave-assisted synthesis of nanocomposite Ag/ZnO–TiO₂ and photocatalytic degradation Rhodamine B with different modes," *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*, vol. 457, pp. 134–141, Sep. 2014, doi: 10.1016/J.COLSURFA.2014.05.060.
- [13] S. Rajendran, M. M. Khan, F. Gracia, J. Qin, V. K. Gupta, and S. Arumainathan, "Ce³⁺-ion-induced visible-light photocatalytic degradation and electrochemical activity of ZnO/CeO₂ nanocomposite," *Sci Rep*, vol. 6, p. 31641, Aug. 2016.
- [14] M. A. Alvi, A. A. Al-Ghamdi, and M. Shaheer Akhtar, "Synthesis of ZnO nanostructures via low temperature solution process for photocatalytic degradation of rhodamine B dye," *Mater Lett*, vol. 204, pp. 12–15, 2017, doi: 10.1016/j.matlet.2017.06.005.
- [15] J. E. Morales-Mendoza and F. Paraguay-Delgado, "Widening UV–Vis absorption band by Cu doped ZnO and ZnO/CuO composite," *Mater Lett*, vol. 291, p. 129494, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.129494.
- [16] P. R. Jubu, O. S. Obaseki, A. Nathan-Abutu, F. K. Yam, Y. Yusof, and M. B. Ochang, "Dispensability of the conventional Tauc's plot for accurate bandgap determination from UV–vis optical diffuse reflectance data," *Results in Optics*, vol. 9, p. 100273, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.rio.2022.100273.
- [17] S. Sagadevan, S. Vennila, J. A. Lett, A. R. Marlinda, N. A. B. Hamizi, and Mohd. R. Johan, "Tailoring the structural, morphological, optical, thermal and dielectric characteristics of ZnO nanoparticles using starch

- as a capping agent,” *Results Phys*, vol. 15, p. 102543, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102543>.
- [18] S. B. Ghaffari, M. H. Sarrafzadeh, M. Salami, and M. R. Khorramizadeh, “A pH-sensitive delivery system based on N-succinyl chitosan-ZnO nanoparticles for improving antibacterial and anticancer activities of curcumin,” *Int J Biol Macromol*, vol. 151, pp. 428–440, 2020, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.02.141.
- [19] S. Park, B. H. Yoo, C. Shin, Y. C. Kim, J. H. Lee, and J. C. Lee, “Electrical and Photocatalytic Property Change of Solution-Combusted ZnO Nanopowder by Heat-Treatment,” *J Nanosci Nanotechnol*, vol. 15, no. 7, pp. 5318–5320, 2015, doi: 10.1166/jnn.2015.10405.
- [20] R. Sagheer, M. Khalil, V. Abbas, Z. N. Kayani, U. Tariq, and F. Ashraf, “Effect of Mg doping on structural, morphological, optical and thermal properties of ZnO nanoparticles,” *Optik (Stuttg)*, vol. 200, p. 163428, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.163428>.
- [21] T. Wanotayan, J. Panpranot, J. Q. Qin, and Y. Boonyongmaneerat, “Microstructures and photocatalytic properties of ZnO films fabricated by Zn electrodeposition and heat treatment,” *Mater Sci Semicond Process*, vol. 74, pp. 232–237, 2018, doi: 10.1016/j.mssp.2017.10.025.
- [22] V. P. Singh, M. Kumar, B. P. Reddy, Sunny, R. K. Gangwar, and C. Rath, “Multifunctional Hierarchically Architected ZnO for Luminescence, Photocatalytic, Electrocatalytic, and Energy Storage Applications,” *Crystals (Basel)*, vol. 10, no. 11, 2020, doi: 10.3390/cryst10111025.

CARACTERIZACION DE LAS PELICULAS ELABORADAS CON ALMIDON DE HUESO DE MANGO

Claudia Andrea Romero Bastida^{1*}, Luis Arturo Bello Pérez¹

¹Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-Instituto Politécnico Nacional, cbastida@ipn.mx

Área de participación: Ingeniería química

Resumen

El hueso del mango se considera un desperdicio en la industria procesadora de frutas. Se extrajo el almidón de este material como materia prima para elaborar empaques biodegradables. El almidón fue aislado utilizando diferentes métodos de extracción (metabisulfito de sodio e hidróxido de sodio). A este almidón se le modificó con dos reactivos anhídrido octenil succínico (OSA) y ácido cítrico (AC). Cuando se elaboraron películas con estos almidones, la modificación con ácido cítrico (AC), produjo una mayor elongación (aproximadamente de 80%). Sin embargo, la tensión a la fractura disminuyó. La permeabilidad al vapor de agua, con esta modificación, también aumentó. Esto se atribuye a un efecto plastificante del AC. En la modificación con OSA, la tensión a la fractura aumentó, aunque la elongación disminuyó. Las películas con almidón modificado mostraron mayor rugosidad en la superficie al compararlas con las películas de almidón sin modificar independientemente de la modificación

Palabras clave: almidón hueso mango, métodos de extracción, modificación química, películas

Abstract

The mango kernel is considered a waste in the fruit processing industry. Starch was extracted from this material as a raw material to make biodegradable packaging. Starch was isolated using different extraction methods (sodium metabisulfite and sodium hydroxide). This starch was modified with two reagents octenyl succinic anhydride (OSA) and citric acid (CA). When films were made with these starches, the citric acid (CA) modification produced a higher elongation (approximately 80%). However, the stress at fracture decreased. The water vapor permeability, with this modification, also increased. This is attributed to a plasticizing effect of CA. In the OSA modification, the stress at fracture increased, although the elongation decreased. The modified starch films showed higher surface roughness when compared to the unmodified starch films regardless of the modification.

Key words: mango kernel starch, extraction methods, chemical modification, films

Introducción

El uso excesivo de los materiales de empaque sintéticos ha creado un problema de contaminación ambiental, por lo anterior, se han estado realizando investigaciones para elaborar materiales de empaque biodegradables que cumplan con su función protectora pero que no contaminen el ambiente al final de su uso. Entre las sustancias que se han utilizado como materia prima para elaborar empaques biodegradables se encuentra el almidón.

Una forma de obtener almidón para elaborar los materiales de empaque biodegradables podría ser la industria procesadora de frutas. Debido a que después del proceso industrial de frutas como el mango, se tienen grandes cantidades de semillas que son consideradas como desecho, esto crea problemas tanto para la industria como para el ambiente. Así que, si es utilizado como fuente de almidón para elaborar materiales biodegradables, podría disminuir problemas ambientales y tener

un valor agregado. El desperdicio de la industria de procesamiento del mango genera volúmenes importantes de desechos o residuos. Este desperdicio es aproximadamente del 40-60% del procesamiento de mango. Dependiendo de la variedad de mango, la cáscara puede constituir 15 a 18% del peso total del fruto y el hueso 13 a 29% [1]. El hueso de mango puede contener alrededor de un 77% de almidón en peso, por lo tanto, puede ser considerado una buena fuente de obtención de almidón. Sin embargo, al ser un material proveniente de la naturaleza, es sensible a la humedad del ambiente, por lo que es necesario modificarlo químicamente para mejorar sus características. Para ampliar sus aplicaciones, los almidones pueden ser modificados por métodos químicos, físicos y enzimáticos. La modificación química se logra a través de la eterificación, esterificación y entrecruzamiento [2]. La más frecuente es la sustitución, esta modificación cambia el carácter del almidón haciéndolo más hidrofóbico. Este método produce almidón OSA, el cual es producto de una esterificación con ácido octenil succínico, bajo condiciones alcalinas. En el almidón hay sustitución de grupos hidroxilo por grupos éster, de manera que el almidón recibe grupos hidrofóbicos que lo hacen más resistente al agua [3]. Los agentes de entrecruzamiento que se han usado para mejorar las propiedades mecánicas y de estabilidad al agua son oxiclورو de fósforo, trimetafosfato de sodio y epicloridina [4]. Sin embargo, son caros y relativamente tóxicos. Los ácidos policarboxílicos, como el cítrico o el tartárico, pueden funcionar como alternativas no tóxicas y no son caros. El objetivo del trabajo es utilizar un desperdicio de la industria procesadora de mango para darle un uso alternativo como material de empaque para la conservación de alimentos. Este material se modificará químicamente para mejorar sus características.

Metodología

Materiales

Se utilizó mango variedad Tomy obtenido de un expendio de fruta. Para la extracción del almidón se utilizó metabisulfito de sodio e hidróxido de sodio. Para las películas se utilizó glicerol como plastificante.

Obtención del almidón

Extracción del almidón por vía húmeda según el método propuesto por Kaur y col., (2004) [5]. La muestra se molió con el uso de un molinillo IKA- hasta harina, se pesaron 70 g de la harina tamizada (16 mesh) y se sumergió en una solución de metabisulfito de sodio al 0.16% en peso, calentando a 50 °C con agitación constante en una plancha de calentamiento Corning Stirrer Hot Plate por 9 horas. La muestra se filtró por gravedad para retirar la almendra molida sin almidón. Luego, el filtrado se centrifugó en el equipo Damen/IEC modelo HN-SII, por 15 minutos a 2000 rpm. Se desechó el líquido sobrenadante y se re suspendió el almidón en agua destilada para llevarlo nuevamente a centrifugación bajo las mismas condiciones. Los lavados con agua fría se realizaron tres veces para eliminar las impurezas presentes. Por último, el almidón extraído se secó hasta peso constante a 60°C en estufa al vacío

Extracción por el método alcalino según lo propuesto por Singh y Singh (2001) [6] con algunas modificaciones. A 5g de harina se le añadió una solución de NaOH a 0.5% por 6 horas a temperatura constante a temperatura ambiente. La solución fue filtrada por un tamiz de 100 y después por uno de 200 mesh. El sedimento remanente se lavó con agua destilada 3 veces. Se combinaron los filtrados y se mantuvieron toda la noche a 4 °C. El sobrenadante fue descartado y el almidón crudo se lavó con agua destilada. Estos pasos se repitieron 3 veces y el residuo se secó a 40 °C por 24 horas en una estufa. El almidón se molió en un mortero y se empaco en bolsas de plástico y se mantuvo a temperatura ambiente hasta su uso.

Esterificación del almidón con OSA

La modificación química del almidón se realizó siguiendo la metodología de Han y Be-Miller (2007) [7]. Las muestras de almidones nativos (100 g en base seca) se dispersó en 230 mL de agua destilada con agitación (plancha magnética) constante durante 1 h. El pH de la suspensión se ajustó a 8.75 utilizando una solución de NaOH (0.1 M). Se adicionó gota a gota el OSA (3% de la base de almidón en base seca) durante dos horas y se mantuvo la agitación constante cuidando que el pH se mantuviera a 8.75 durante 6 h a 28 ± 2 °C. Terminada las 6 horas de reacción el pH se ajustó a 7.0 con HCl (1 M). La mezcla se centrifugo a 3000 g por 10 min, se realizaron 3 lavados con agua destilada y un lavado con acetona. El almidón-OSA se secó en un horno a 35 °C durante 24 h, se molió y luego se pasó a través de una malla 100 μ .

Elaboración de las películas

Se utilizó el método de vertido en placa para elaborar las películas. Para la elaboración de las películas con ácido cítrico, se utilizó almidón al 4%, glicerol al 30% en función de la cantidad de almidón. Se le añadió ácido cítrico al 20% con hipofosfito de sodio (al 50% en peso del ácido cítrico) como catalizador. La solución formadora de película se calentó a 90 °C por 20 minutos. A continuación, se enfrió a 65°C y se vertieron en placas de acrílico de 15X30 cm y se secaron a temperatura ambiente por dos días. Después se trataron con aire caliente a 130 °C por 10 minutos para promover el entrecruzamiento del ácido cítrico con el almidón. Las placas se dejaron enfriar y se transfirieron a una cámara de humedad relativa al 50%. Por último, se despegaron de las placas y se almacenaron para su posterior caracterización. Para las películas elaboradas con almidón modificado con el OSA, solo se agitó el almidón con glicerol y agua. Una vez alcanzada la temperatura de 80 °C se mantuvo en agitación por 5 minutos, se dejó enfriar a 50 °C y se vertieron en las placas para el secado a temperatura ambiente como en las películas con ácido cítrico.

Permeabilidad al vapor de agua

Se utilizó el método E96-80 (ASTM, 1996) con algunas modificaciones. Cada muestra de película se colocó en una celda de prueba con un área circular abierta de 0.00264 m² la cual contenía sílica gel (0% HR). Estas celdas se colocaron en desecadores con una solución saturada de cloruro de sodio (75% HR) y una temperatura de 25 °C. El transporte al vapor de agua se determinó por una ganancia en el peso de la celda de permeación. Después de alcanzar el estado estacionario, se pesaron las muestras cada hora por 6 h. El cambio de peso en las celdas se registró hasta 0.0001 g y se graficó en función del tiempo. Se calculó la pendiente de cada línea por regresión lineal ($R^2 = 0.99$), el coeficiente de transmisión de vapor de agua (CTVA) se calculó de la pendiente (g/s) dividido por el área de la celda (m²). Se midió el espesor y con esta determinación se calculó la permeabilidad (PVA) (g/ m s Pa). Las muestras se analizaron al menos por triplicado.

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las películas se evaluaron usando un analizador de textura TA.TX2i (Stable Micro Systems, Co., Surrey, Inglaterra) de acuerdo con la norma D882-97 (ASTM, 1996). Tiras de muestra (10 x 1 cm) de cada formulación se cortaron y se colocaron en las pinzas del texturómetro. La fuerza máxima a la tensión (MPa) y el porcentaje de elongación (%) se registraron durante la extensión a una velocidad de 50 mm/ min y una distancia inicial entre las pinzas de 6 cm.

Microscopía electrónica de barrido

La morfología de la superficie de las películas se examinará usando un microscopio (JEOL JSM-5410LV). Las muestras se cortarán en un tamaño adecuado y se colocarán en soportes de cobre cilíndricos de 1 cm de diámetro. Después se recubrirán con oro para facilitar la conducción y prevenir la acumulación de cargas cuando se bombardea con electrones. El análisis de la muestra se realizará bajo condiciones de alto vacío.

Resultados y discusión

Permeabilidad al vapor de agua

Se determinó la permeabilidad al vapor de agua de las películas con almidón de hueso de mango extraídas con hidróxido de sodio y bisulfito de sodio y con la modificación con OSA y con ácido cítrico. Se puede observar (Figura 1) que la menor permeabilidad se obtuvo con método de extracción con bisulfito de sodio. Los valores obtenidos en este estudio fueron menores a los obtenidos por Nawab, et al. (2016), [8] en el que encontraron valores de 15.8×10^{-11} para películas de almidón de hueso de mango extraídas con metabisulfito de sodio y con 40% de glicerol. La película con el almidón extraído con hidróxido de sodio y modificación con ácido cítrico fue la que obtuvo la mayor permeabilidad. Un efecto similar fue encontrado por Yu, et al. (2005), [9] menciona que el ácido cítrico funciona como un plastificante, aumentando el porcentaje de elongación y la permeabilidad al vapor de agua.

También, las películas elaboradas con la modificación OSA tuvieron una alta permeabilidad. Se esperaba que al incluir grupos hidrofóbicos la permeabilidad disminuyera, pero este no fue el resultado. Este efecto también fue encontrado por Naseri, et al. (2019), [10] cuando modificó con OSA el almidón sagu. Estos investigadores explican que este fenómeno es debido a que la habilidad que tiene el almidón para formar una red tridimensional es atribuida a su estructura molecular y debido a que los grupos OSA son voluminosos, se abre la estructura del polímero, permitiendo pasar más fácilmente las moléculas de vapor de agua y por eso la permeabilidad aumenta.

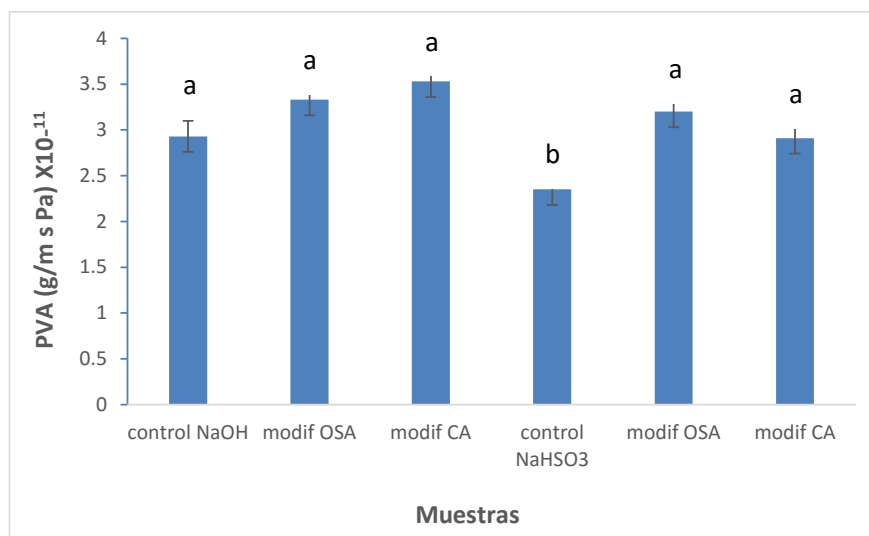


Figura 1. Permeabilidad al vapor de agua de películas de almidón de hueso de mango extraídas con hidróxido de sodio y metabisulfito de sodio con modificación vía OSA 3% y ácido cítrico al 20%

Propiedades mecánicas

Se evaluaron las propiedades mecánicas de las películas de almidón de hueso de mango. (Figura 2 y 3). En la figura 2 se observa que el mayor valor de tensión a la fractura se obtuvo con la extracción usando hidróxido de sodio (6 MPa), seguido por las películas extraídas usando metabisulfito de sodio (4.65 MPa). Los valores encontrados en este estudio fueron superiores a los encontrados por Nawab, et al. (2016) en el que utilizaron este tipo de almidón extraído con metabisulfito de sodio y empleando 40% de glicerol como plastificante ($T = 3.57$ MPa). Los valores encontrados en este estudio fueron mayores a los valores mínimos aceptables para la elaboración de materiales de empaque que es de 4 MPa [11]. Las modificaciones realizadas a este almidón con OSA y con ácido cítrico muestran que el utilizar el ácido cítrico (CA) causó una disminución mayor al compararlo con las modificadas con OSA.

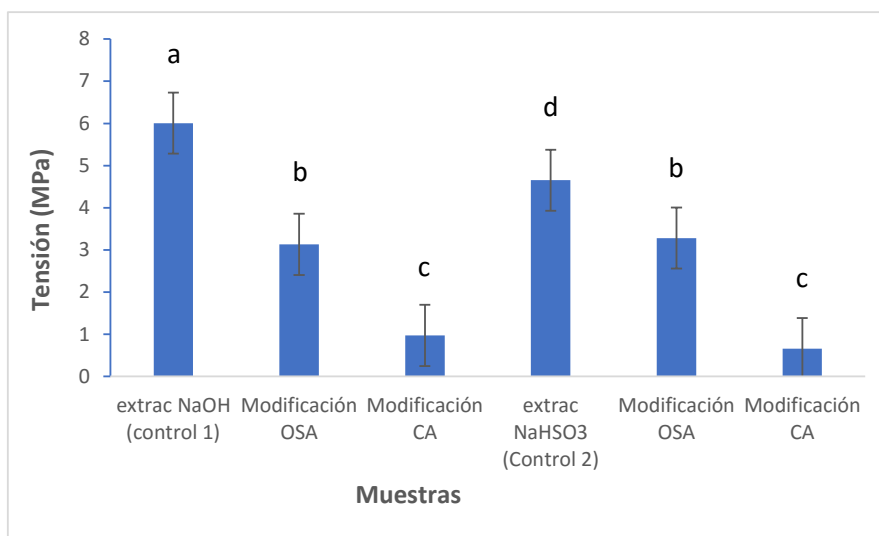


Figura 2. Tensión a la fractura de películas de almidón de hueso de mango extraídas con dos métodos de extracción y dos modificaciones.

El porcentaje de elongación se muestra en la Figura 3, en la que se observa que las películas elaboradas con la modificación con ácido cítrico obtuvieron los mayores resultados, independientemente del método de extracción empleado. Algunos investigadores [9] han observado que la introducción de ácido cítrico conduce a un aumento en el porcentaje de elongación y a una disminución en la tensión a la fractura (como puede observarse en la Figura 2). Este efecto se atribuye a una plastificación debido al ácido cítrico.

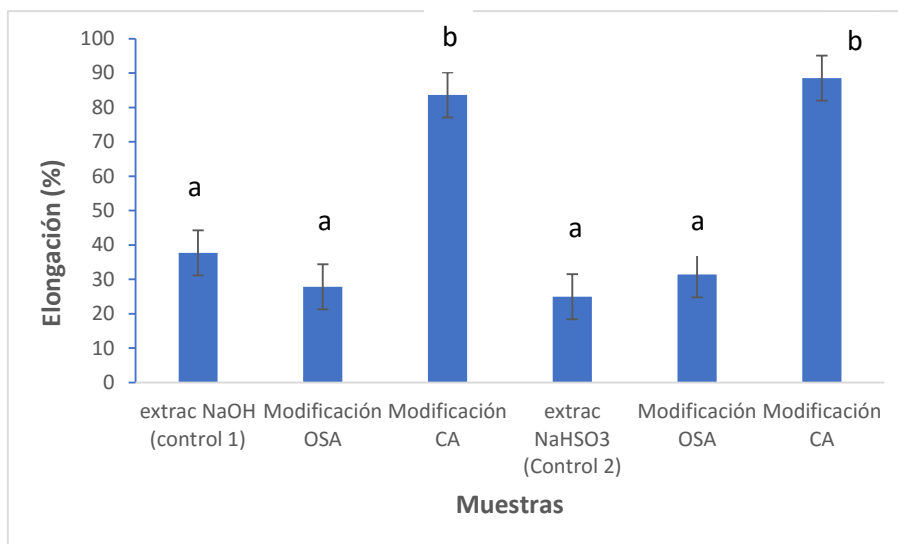


Figura 3. Porcentaje de elongación de películas de almidón de hueso de mango extraídas y modificadas por dos métodos.

SEM películas nativas y modificadas

Mediante la microscopía electrónica de barrido se puede observar la homogeneidad de la película. En la figura 4 se observan las películas de almidón de hueso de mango obtenido con los dos métodos de extracción. Se observa una superficie más homogénea con el almidón extraído con hidróxido de sodio. (Figura 4b). Sin embargo, cuando se hizo la modificación con ácido cítrico (Figura 5), las películas que tuvieron un mayor cambio en la superficie fueron las extraídas con hidróxido de sodio. La estructura rugosa de las películas modificadas con ácido cítrico concuerda con lo encontrado por [12] para películas de almidón de papa y quitosano modificados con este ácido. Estos investigadores explican que los puntos blancos que aparecen son debido a que los cristales de ácido cítrico pueden haber solidificado en la muestra promoviendo una estructura más gruesa

La modificación con el reactivo OSA (Figura 6) también afectó la superficie de las películas aumentando su rugosidad, pero menor al observado con la modificación con ácido cítrico (Figura 5). Este es un resultado que ha sido observado por otros investigadores [13] que encontraron que la utilización del reactivo OSA provoca un aumento en la rugosidad de la superficie y esto puede deberse a que la compatibilidad de las moléculas de almidón disminuye con la octenil succinilación.

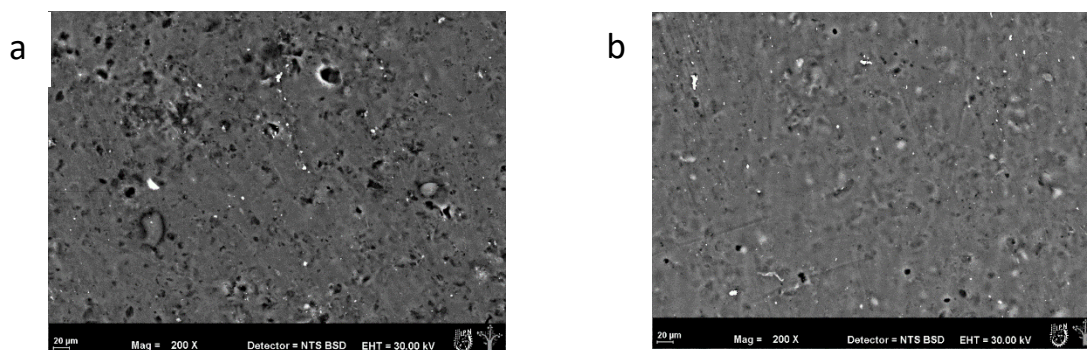


Figura 4. Microscopía electrónica de barrido de películas de almidón de hueso de mango extraído con a) metabisulfito de sodio y b) extraído con hidróxido de sodio

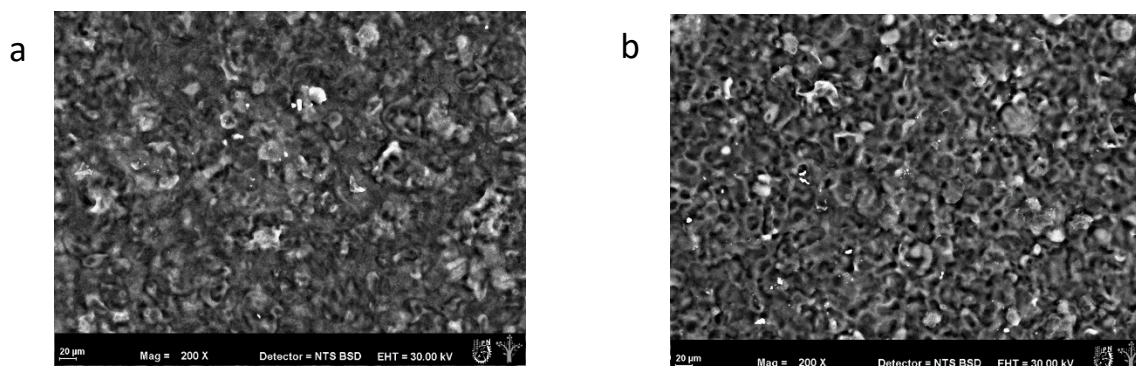


Figura 5. Microscopía electrónica de barrido de películas de almidón de hueso de mango modificadas con ácido cítrico a) extracción del almidón con metabisulfito de sodio y b) extracción con hidróxido de sodio

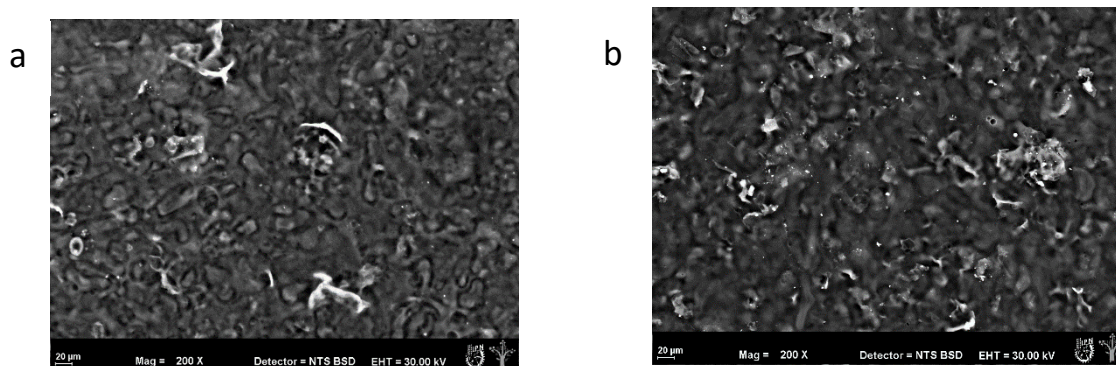


Figura 6. Microscopía electrónica de barrido de películas de almidón de hueso de mango modificadas con reactivo OSA a) extracción del almidón con metabisulfito de sodio y b) extracción con hidróxido de sodio

Trabajo a futuro

Para determinar las posibles interacciones entre componentes o la formación de nuevos enlaces sería necesario realizar estudios de FTIR. Además, para determinar la cristalinidad de las películas sería conveniente evaluar el estudio de rayos x. Determinar el color y la solubilidad de las películas.

Conclusiones

La modificación química del almidón no mejoró la tensión a la fractura de las películas, sin embargo, la elongación si aumentó solo cuando se utilizó el ácido cítrico debido a un efecto plastificante.

La permeabilidad al vapor de agua no disminuyó con la modificación química del almidón. Cuando se empleó el OSA el grupo sustituido fue voluminoso en la estructura, lo que causó un aumento del paso de vapor de agua. En el caso del CA fue un efecto plastificante.

Mediante la microscopía electrónica de barrido se observó que la superficie de la película se vio afectada por la modificación química. Las películas sin modificar tenían una textura más homogénea, pero la extraída con hidróxido de sodio era más uniforme.

Tanto el método de extracción como la modificación del almidón afectan las características de las películas y por lo tanto el uso que se le pudiera dar como material de empaque.

Referencias

- [1] P. Nayak, K. & Rayaguru "Studies of extraction of starch from dried and fresh mango seed kernel". *International Journal of Agricultural Sciences*, vol. 10, no. 8, pp. 7192-7195, 2018.
- [2] G. León-Méndez, M. R. Monroy, A. E. Arellano & A. Herrera Barros. "Modificación de almidones mediante reacciones de esterificación". *Archivos Venezolanos*. vol. 39, no. 5, pp. 620-629, 2020.
- [3] C. A. Ferrat, R. L. Fontes, G. C. Fontes-Saint-Ana, V. Calado, E. O. López and M. H. Rocha-Leao. "Extraction, Modification, and Chemical, Thermal and Morphological Characterization of Starch From the Agro-Industrial Residue of Mango (*Mangifera indica* L) var. Ubá" *Starch-Starke*, vol. 71, no. 7, pp. 2739-2746, 2019.
- [4] J. Prachayawarakorn & J. Tamseekhram, "Chemical modification of biodegradable cassava starch films by natural mono, di and tri carboxylic acids," *Song Journal of Food Science and Technology*, vol. 41, no. 2, pp. 355-362, 2019.
- [5] M.; Kaur, N.; Singh K. S.; Sandhu, H. S. Guraya, "Physicochemical, morphological, thermal, and rheological properties of starches separated from kernels of some Indian mango cultivars (*Mangifera indica* L.)." *Food Chemistry*, vol. 85 no. 1, pp. 131-140. 2004.
- [6] N. Singh, J. Singh, L., Kaur, N. S. Sodhi, & B. S. Gill, "Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources", *Food Chemistry*. Vol. 81, no. 2, pp. 219-231, 2003.
- [7] J. Han, J. N. Miller, "Preparation and physical properties of slowly digesting modified food starches", *Carbohydrate Polymers*, vol. 67, no. 3, pp. 366-374.
- [8] J. Han, J. N. Miller, "Preparation and physical properties of slowly digesting modified food starches", *Carbohydrate Polymers*, vol. 67, no. 3, pp. 366-374.
- [9] J. Yu, W. Ning, M. Xiaofei, "The Effects of Citric Acid on the Properties of Thermoplastic Starch Plasticized by Glycerol". *Starch/Stärke* vol. 57, no. 3, pp. 494-504, 2005.
- [10] A. Naseri, H. Shekarchizadeh, and M. Kadiv. "Oxy-succination of sago starch and investigation of the effect of calcium chloride and ferulic acid on physicochemical and functional properties of the modified starch film". *Journal of Food Process and Preservation*. Vol. 43 no. 3: e13898 2019.
- [11] T. Oliveira, M. F. Rosa, M. J. Ridout, "Bionanocomposite films based on polysaccharides from banana peels," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 101 pp. 1-8. 2017.
- [12] H. Wu, Y. Lei, Y. J. Lu, R. Zhu, D. Xiao, Ch. Jiao, R. Xia, Z. Zhang and M. Li. "Effect of citric acid induced crosslinking on the structure and properties of potato starch/chitosan composite films". *Food Hydrocolloids* vol. 97. 105208. 2019

- [13] J., Li, J., Ye, F., J. Liu, G. Zhao,. "Effects of octenylsuccination on physical, mechanical, and moisture-proof properties of stretchable sweet potato starch film." *Food Hydrocolloids* vol. 46, no.1, pp. 226-232, 2015.

CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS COMESTIBLES ELABORADAS CON HARINA DE GARBANZO A DIFERENTES PORCENTAJES DE HUMEDAD

Claudia Andrea Romero Bastida^{1*}, Monserrat Morales Catalán¹, Rosalía América González Soto¹,

¹Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. *cbastida@ipn.mx

Área de participación: Ingeniería química

Resumen

Para conservar a los alimentos, se han desarrollado materiales comestibles que protegen al alimento, pero sin causar problemas de contaminación. Recientemente se ha trabajado con harinas de leguminosas debido a que sus componentes (proteínas, carbohidratos y lípidos) aportan características que mejoran el comportamiento del material comestible al compararlo con los componentes individuales. Se utilizó el método de termoprensado utilizando muestras de harina de garbanzo con 20 y 22% de humedad. Se evaluaron el color, las propiedades mecánicas, de barrera y su capacidad antioxidante. Se observaron diferencias en la luminosidad y en b^* para las muestras con 20% humedad. No se observaron diferencias en las propiedades mecánicas ni en las de barrera. No hubo disminución de los compuestos fenólicos ni de su capacidad antioxidante a pesar de la elevada temperatura utilizada para el procesamiento de las muestras

Palabras clave: Harina de garbanzo, materiales por termoprensado, propiedades de películas

Abstract

To preserve foods edible materials have been developed to protect foods but without contamination problems. Recently, work has been done with legume flours because its components (protein, carbohydrate, and lipids) provide characteristics that improve the behavior of the edible material when compared to the individual components. Hot pressing method was used with chickpea flour samples having 20 and 22% humidity. Color, mechanical, barrier and antioxidant capacity were measured. Differences in luminosity and in b^* were observed for 20% humidity samples. No differences were observed in mechanical or barrier properties neither in phenolic compounds nor antioxidant capacity despite of the high temperature used for sample processing.

Key words: Chickpea flour, thermopressing materials, film properties

Introducción

Las películas comestibles son materiales que provienen de la naturaleza y pueden tener diferentes funciones como el de ser acarreadores de antimicrobianos, antioxidantes, tener propiedades de barrera a la luz ultravioleta. Evitan la pérdida de humedad en frutos que se asocia a la pérdida de turgencia. Ayudan a mantener la calidad nutricional de los alimentos y como barrera para el intercambio de gases [1].

Los carbohidratos, proteínas y lípidos se han usado como materias primas para la elaboración de películas y recubrimientos comestibles. Sin embargo, cuando son fabricados a partir de un solo componente presentan bajas propiedades mecánicas o de barrera. Para lo anterior, se pueden emplear mezclas de componentes para que las propiedades de la película final sea el conjunto de las características individuales de todos los componentes [2].

Las películas elaboradas con harinas de productos agrícolas han demostrado tener buenas propiedades, ya que son mezclas naturales de carbohidratos, proteínas y lípidos. Se han realizado estudios con harina de lentejas, soya desgrasada y guisantes como materiales filmogénicos, en los que se ha demostrado que son una buena fuente de material natural para la elaboración de películas por su elevado contenido de almidón y proteína [3]; [4]. El garbanzo es una leguminosa con alto valor nutricional, aporta cantidades significativas de proteínas, carbohidratos y lípidos, incluida la fibra dietética y compuestos fenólicos con capacidad antioxidante [5]. Dentro de las proteínas se encuentran aminoácidos esenciales que se encuentran en cantidades superiores a las encontradas en la harina de trigo. Además, los lípidos en el garbanzo se caracterizan por altos niveles de ácidos grasos esenciales. Por lo tanto, si se elaboran películas comestibles con este material se podría tener una doble funcionalidad por un lado aprovechar su valor nutricional y por otro lado emplearlo para conservar un alimento. La metodología comúnmente empleada para elaborar películas es el vertido en placa, sin embargo, la temperatura de proceso no es lo suficientemente elevada para inhibir los compuestos anti nutricionales presentes en el garbanzo, que evitan la absorción de proteínas. Es por eso que utilizar otro método que utilice mayores temperaturas, como el método de termopresado, podría ser una ventaja en la elaboración de películas comestibles.

Para determinar el uso que se les dará a estas películas en la protección de los alimentos, es necesario conocer sus propiedades como las mecánicas, de barrera y el color. Además, ciertos componentes de la harina de garbanzo, como los compuestos fenólicos son los que proporcionan la capacidad antioxidante y al estar presentes en las películas comestibles, permiten aumentar la estabilidad de los componentes del alimento, previniendo la rancidez oxidativa, degradación y decoloración. Además, ayudan a la matriz alimentaria para que conserve su valor nutricional.

Debido a lo anterior, los objetivos del presente trabajo son elaborar películas comestibles a base de harina de garbanzo, por el método de termopresado y se caracterizar algunas de sus características.

Metodología

Materiales

Se utilizará harina de garbanzo como material para elaborar las películas, glicerol como agente plastificante

Metodología

Elaboración de la película

Las muestras se elaboraron con harina de garbanzo con 20 y 22% de humedad y con 30% p/p de glicerol. Se dejó en almacenamiento a 4° C por 24 horas. Las muestras se cortaron en cuadros de 10 x 10 cm y se laminaron, con el fin de disminuir el espesor almacenándose en refrigeración por 24 horas. Se utilizó el método de termopresado con las siguientes condiciones de operación: precalentamiento del equipo sin muestra, hasta alcanzar una temperatura de 135 °C, colocación de la muestra entre las dos placas de acero inoxidable del equipo sin presión durante 2 minutos. Aumento de la presión a 8500 psia por 2 min con una liberación de presión por 20 segundos. Esta parte del proceso se repitió dos veces más. Finalmente, la muestra se dejó con presión por 15 minutos sin calentamiento para posteriormente retirarse del equipo.

Color

Se utilizó un colorímetro portátil Kónica® Minolta Sensing CR-400, calibrado con un plato estándar color blanco como referencia. Los valores obtenidos se expresados en coordenadas del espacio CIELab, donde L* representa la luminosidad y tiene valores entre 0 y 100, a* indica las tonalidades en verde (-) y rojo (+), y b* indica las coordenadas cromáticas para azul (-) y amarillo (+). Para a y b se asignan valores de -120 a 120. Para las mediciones, las películas se colocaron sobre el plato de calibración del colorímetro y se realizaron las lecturas e cuatro partes aleatorias de la muestra

Determinación de propiedades mecánicas

Se determinaron usando un texturómetro TAXT2i- (Stable Micro Systems, England), con una celda de carga de 25 kg, de acuerdo con el método ASTM D882-02 [ASTM, 2002]. Se utilizaron rectángulos de 1x10 cm y se acondicionaron durante 2 días en un desecador, con una humedad relativa del 57%. Antes de realizar la determinación se midió el espesor de las muestras con un micrómetro digital (Mitutoyo Co., mod. 293-230, Japón), en seis puntos aleatorios de la película para determinar el área. La separación entre las pinzas fue de 6 cm. Se

empleó una velocidad de ensayo de 2.20 mm/s. La tensión a la fractura se calculó dividiendo el pico de fuerza máxima entre el área transversal de la película. El porcentaje de elongación (%E) se calculó dividiendo el cambio en la longitud en el punto de ruptura por la longitud inicial x 100.

Permeabilidad al vapor de agua

Para la realización de la prueba se siguió el método de la ASTM E96-66. Las películas se acondicionaron a 57% HR por 48 horas antes de la prueba. Se utilizó una celda de acero inoxidable (55mm altura y 65 mm de diámetro) para la prueba. Se selló cada película sobre una superficie circular abierta, que fungió como la tapa de la celda. En el interior, la celda contenía sílica gel (0%HR) y ésta se colocó en un desecador que contenía una solución sobresaturada de cloruro de sodio al 75% HR a una temperatura de 25 °C. El área de transferencia de la celda fue de 53 mm en diámetro. Los datos fueron registrados cada hora durante 6 horas. La transferencia de vapor de agua se determinó de la ganancia en peso de la celda como una fusión del tiempo. La pendiente de la línea recta obtenida por regresión lineal se consideró como el flux de vapor de agua. El coeficiente de transferencia de vapor de agua (CTVA) se calculó de dividir el flux por el área de transferencia. La permeabilidad al vapor de agua se calculó dividiendo la CTVA por la diferencia de presión de vapor de agua en ambos lados de la película multiplicado por el espesor de la película. Las pruebas se realizaron por triplicado.

Extracción de compuestos fenólicos libres

Se realizó siguiendo la metodología descrita por Ovando (2012) y Santiago (2019), con algunas modificaciones. Para la extracción de compuestos fenólicos libres polares, se pesaron 0.5 g de muestra (harina o película), y se añadieron 10 ml de Metanol-Agua (50:50) con agitación durante 1 hora en ausencia de luz. Posteriormente se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos. Se recuperó el sobrenadante y se colocó en un matraz aforado de 25 ml. Con respecto a la extracción de compuestos fenólicos libres no polares, se añadieron 10 ml de Acetona-Agua (70:30) al residuo obtenido anteriormente con agitación durante 1 hora en ausencia de luz. Posteriormente se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos. Se realizó la recuperación del nuevo sobrenadante en el mismo matraz aforado de 25 ml, donde se recuperó el sobrenadante anterior. Después el matraz se aforó con agua destilada. Los residuos que quedaron en los tubos fueron almacenados en refrigeración para su uso posterior, en la extracción de compuestos ligados. Las muestras (0.1 ml) se mezclaron 0.5 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu, con agitación durante 5 minutos y 1.5 ml de Na₂CO₃ al 7% y se llevó al aforo con agua destilada a 10 ml. Las muestras se mantuvieron en oscuridad durante 2 horas. Se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 765 nm. La concentración se obtuvo de una curva de calibración de ácido gálico y agua.

Extracción de compuestos fenólicos ligados

Taninos condensados

La muestra (200 mg de residuo del paso anterior) se mezcló con 10 ml de solución de butanol/HCl/FeCl₃ en incubación durante 3 horas. Después, las muestras se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos. Repetir este proceso dos veces. Posteriormente las muestras se aforaron con C₄H₁₀O/HCl/FeCl₃, y se leyó su absorbancia a una longitud de onda de 555 nm. Registrar los datos para posteriormente realizar su interpretación, en una curva de calibración de cianidina.

Taninos hidrolizados

La muestra (200 mg de residuo del paso anterior) se mezcló con 20 ml de butanol y 2 ml de H₂SO₄ concentrado. Las muestras se dejaron en incubación durante 20 horas a 85 °C. Las muestras se centrifugaron durante 10 minutos a 3000 rpm. Los residuos se lavaron con agua destilada y se centrifugaron como en el paso anterior. Tomar una de 0.5 ml y mezclar con 0.5 ml de reactivo Folin-Ciocalteu, dejándose reposar durante 3 minutos, A continuación, añadir 10 ml de carbonato de sodio al 75% y 14 ml de agua destilada. Tomar 0.5 ml de la solución y adicionar 0.5 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu, esperar 3 minutos y añadir 10 ml de Na₂CO₃ al 75% y 14 ml de agua destilada, dejar reposar en oscuridad, durante 1 hora. Determinar la absorbancia de las muestras a una longitud de onda de 750 nm. Realizar el registro de los datos obtenidos para su posterior análisis con ayuda de una curva de calibración de ácido gálico y agua.

Determinación de la capacidad antioxidante por DPPH

Mezclar (0.5 ml) de muestra con 2 ml de una solución metanólica de reactivo DPPH. Para preparar esta solución se pesaron 0.55 mg del reactivo DPPH en 14 ml de metanol. Las muestras se dejaron en oscuridad durante 30 minutos. Los datos obtenidos se registraron para realizar su interpretación, utilizando una curva de calibración de Trolox. La determinación de la capacidad antioxidante se realizó siguiendo la metodología antes descrita tanto para fenoles libres, como para fenoles ligados.

Se realizó test de ANOVA de una varianza a través del programa de software Sigma plot v.14. Se utilizó un test de comparaciones múltiples de Tukey para la determinación de diferencias significativas ($p < 0.050$).

Resultados y discusión

Color

El color es un parámetro de gran importancia en una película, ya que este influirá en la aceptabilidad y preferencia por parte del consumidor para los alimentos cubiertos con estos empaques. En la Tabla 1 se resumen los valores obtenidos de las coordenadas del espacio de color CIELab.

Tabla 1. Parámetros de color obtenidos

Muestra	L*	a*	b*
20%H	50.41 ± 2.20 ^a	21.45 ± 0.97 ^a	32.31 ± 2.50 ^a
22% H	46.83 ± 2.21 ^b	22.10 ± 1.0 ^a	27.31 ± 2.55 ^b

En la Tabla 1 se observa que a menor contenido de humedad la luminosidad es mayor. Este efecto se observa para diferentes contenidos de glicerol en películas de harina de garbanzo utilizando la técnica de vaciado en placa [6]. El método de elaboración afecta las propiedades de las películas debido a que con el termoformado las películas tienen un mayor espesor que con las realizadas con vertido en placa, lo que ocasiona que las películas sean menos luminosas. Además, en un estudio realizado utilizando ambas técnicas de elaboración [7] para películas de aislado de soya observaron que el parámetro b* (atribuido al color amarillo), aumentaba cuando se utilizaba el termoprensado, lo cual lo atribuyeron a la mayor temperatura de procesamiento. En este estudio, un menor contenido de humedad podría concentrar el color amarillo de la muestra.

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las películas están fuertemente relacionadas con la naturaleza del material formador de la película, así como la interacción entre sus componentes. En la Tabla 2 se muestran los valores de las propiedades mecánicas de las películas. No se observó una diferencia significativa por utilizar diferente contenido de humedad. Al comparar estos resultados con otros de harinas de leguminosas, empleando el método de vertido en placa, puede observarse que son similares en tensión a la fractura para harina de garbanzo de 3.09 MPa, [8] y para ajonjolí de 2.73 MPa, [9]. En este estudio, la elongación de las películas está en el rango de las películas de harina de leguminosas reportadas por otros investigadores. Por ejemplo, las películas de harina de chíá tienen valores variables de 1.05-5%, harina de achira 14.6, harina de garbanzo de 4.87-15.2 [10]. Estas diferencias pueden deberse al contenido de glicerol utilizado en las muestras que afecta la movilidad de las cadenas y por consiguiente el valor de elongación obtenido.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de las películas elaboradas

Muestra	Tensión (MPa)	Elongación (%)	Módulo de Young
20%H	2.33 ± 0.04 ^a	7.37 ± 0.14 ^a	0.66 ± 0.005 ^a
22% H	2.06 ± 0.43 ^a	6.64 ± 0.20 ^a	0.65 ± 0.002 ^a

Propiedades de barrera

Para la conservación de un alimento, es importante medir la capacidad de un material para controlar la transferencia de humedad entre éste y el ambiente. En la Tabla 3 se muestra la permeabilidad al vapor de agua de las películas elaboradas con los diferentes contenidos de humedad.

Tabla 3. Permeabilidad al vapor de agua de las películas elaboradas con harina de garbanzo

Muestra	PVA (g/m.s.Pa)
20% H	$1.45E^{-10} \pm 1.22E^{-10a}$
22% H	$1.70E^{-10} \pm 1.14E^{-10a}$

No se observó diferencia significativa por utilizar diferentes contenidos de humedad en la elaboración de las películas, sin embargo, los valores reportados en este estudio son menores a los reportados por otros investigadores que elaboraron películas de harinas de leguminosas, pero con el método de vertido en placa. Se han reportado valores de $2.45- 3.52 \times 10^{-10}$ g/m s Pa para películas elaboradas con harina de lenteja, 5.3×10^{-10} g/m s Pa para películas de achira, 45×10^{-10} g/m s Pa para películas de quinoa y de 348×10^{-10} g/m s Pa para películas de harina de garbanzo. Este último resultado fue elevado debido a que utilizaron 50% de glicerol. El plastificante además de ser hidrofílico disminuye las fuerzas intermoleculares del polímero, lo que permite una mayor difusión de moléculas de vapor de agua a través de la película [10].

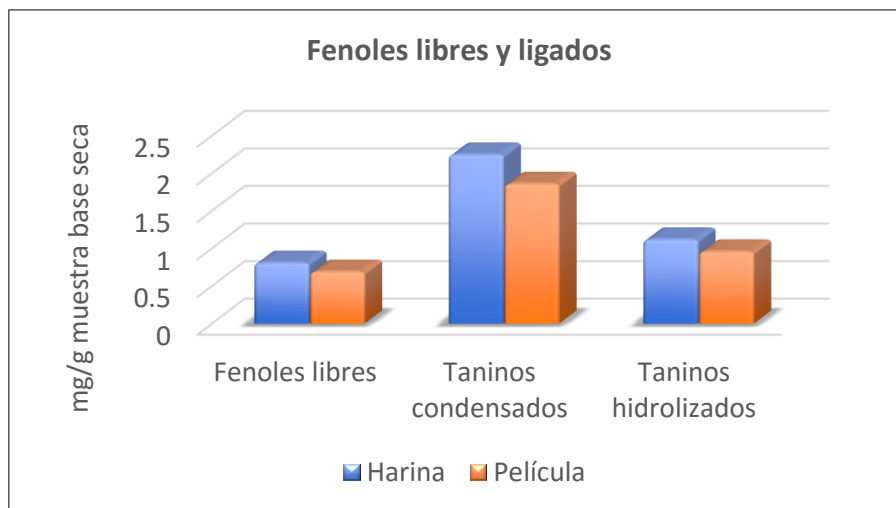
Compuestos fenólicos

En el garbanzo, los compuestos fenólicos se pueden encontrar de distintas maneras, ya sea enlazados en la matriz del alimento, unidos iónicamente a otros compuestos, atrapados en varias estructuras celulares o interaccionando fisicoquímicamente con otras macromoléculas, como la fibra dietética [11].

Del contenido total de compuestos fenólicos presentes en el garbanzo, el 70 al 90% se encuentra unida por medio de enlaces covalentes tipo éster, o enlazados a componentes de la pared celular como la celulosa, lignina o pectina. Aproximadamente un 20 a un 30% de fenoles se encuentra de forma libre, en las capas periféricas del grano de garbanzo. Los cuales pueden estar interaccionando con otras moléculas, a través de enlaces débiles, como son puentes de hidrogeno, interacciones dipolo-dipolo, fuerzas de Van Der Waals, entre otros [12].

Los fenoles ligados poseen enlaces más fuertes, que los une a otras moléculas y grupos funcionales y el efecto de la temperatura de procesamiento es menor, al compararla con los libres. Por efecto de la temperatura, son más fácilmente degradados los compuestos fenólicos (con mayor número de sustituyentes hidrofílicos y menor número de sustituyentes metoxílicos, lo anterior da un indicio de que la estructura química de los compuestos fenólicos influye directamente en su comportamiento tras ser sometidos a tratamientos térmicos. Algunos investigadores [13] mencionan que la reducción en el contenido de polifenoles se puede deber a la formación de polifenoles más complejos como lignina o fenoles estructurales, los cuales no pueden ser determinados con metodologías para compuestos de bajo peso molecular.

En la Figura 1 se muestra la cantidad de compuestos fenólicos totales, libres y ligados, obtenidos tanto para la harina de garbanzo como para la película. Las cuales no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí.



**Figura 1. Compuestos fenólicos totales presentes en harina y película de garbanzo. Fenoles libres y taninos hidrolizados: mg EAG/ g muestra
Taninos condensados: mg Cianidina/ g muestra**

Otros investigadores [14 y 15] cuantificaron fenoles libres y ligados en garbanzo crudo, y reportaron que la mayor proporción de fenoles se encuentra de forma ligada. Lo anterior tiene coincidencia con lo obtenido en este trabajo. Una reciente investigación [16] determinaron el contenido de polifenoles en garbanzos, crudos. La extracción de fenoles libres y ligados se realizó empleando el mismo método, sin embargo, posteriormente las muestras fueron tratadas por sonicación. La cantidad de compuestos fenólicos libres, fenoles ligados hidrolizados y condensados fueron 0.22, 0.194 y 1.056 mg EAG/g de muestra, respectivamente. Se puede observar que los fenoles ligados condensados presentaron los valores más altos, pero en este estudio los fenoles condensados fueron superiores a los encontrados por este investigador.

Capacidad antioxidante

Los resultados de la capacidad antioxidante utilizando la técnica DPPH, se muestran en la Figura 2. Estos se expresaron como % de inhibición contra el radical. No se presentaron diferencias significativas entre harina y película, por lo que se infiere que el proceso térmico que implica la elaboración de las películas no influyó en la pérdida o disminución de la capacidad antioxidante.

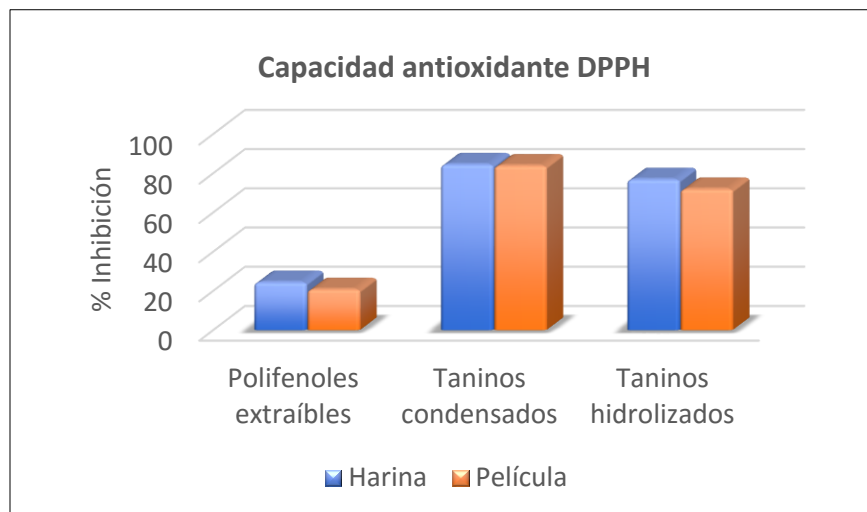


Figura 2. Capacidad antioxidante en % de inhibición de DPPH, de harina y película de garbanzo

Algunos investigadores [17] consideraron que el mecanismo que confiere la capacidad antioxidante del garbanzo se encuentra relacionado con la presencia de numerosos grupos hidroxilo en la molécula de polisacárido, que pueden actuar como donadores de electrones y, por lo tanto, transferir el electrón al radical libre DPPH. Otros investigadores [18] mencionaron que las proteínas del garbanzo poseen estabilidad térmica, con lo cual se evita que los polifenoles se degraden y pierdan su capacidad antioxidante.

Por otro lado, otros investigadores [16] evaluaron la capacidad antioxidante en garbanzos crudos, empleando el radical DPPH. Los resultados obtenidos para compuestos fenólicos libres, condensados e hidrolizados y fueron 19.76, 56.52 y 35.54 % de inhibición, respectivamente. Estos resultados son parecidos a los encontrados en el presente estudio solo para polifenoles libres, sin embargo, para los polifenoles ligados en este estudio fueron superiores. Si el método de extracción no es eficiente, los polifenoles ligados pueden estar atados a la matriz y por lo consiguiente no pueden reaccionar con el reactivo.

Hay muy poca información acerca de la capacidad antioxidante del garbanzo en película. Algunos investigadores [6] trabajaron con películas de garbanzo por el método de vaciado en placa y determinaron la capacidad antioxidante. Sin embargo, no extrajeron los polifenoles antes de evaluar su capacidad, por lo que el valor obtenido solo refleja el comportamiento de los polifenoles extraíbles. En cambio, en este trabajo se obtuvieron primero los polifenoles y después se les evaluó la capacidad antioxidante. Como la gran mayoría se encuentra en los no ligados, sino se separan adecuadamente se podría subestimar el valor obtenido de 14.27% como lo obtuvieron esos investigadores.

Trabajo a futuro

Es necesario continuar con la investigación para poder explicar los resultados obtenidos. Falta realizar la microscopía electrónica de barrido para observar la homogeneidad de la película y así explicar los resultados obtenidos en propiedades mecánicas y de barrera. Evaluar FTIR para ver posibles interacciones en la película por efecto de la temperatura. Evaluar también la solubilidad y el ángulo de contacto para conocer la hidrofiliidad de la película. Medir las propiedades de barrera a la luz UV para ver su posible uso en la conservación de productos sensibles a la luz.

Conclusiones

*La permeabilidad al vapor de agua (PVA) de las películas realizadas, fue menor en comparación con la PVA de películas realizadas a partir de harina de lenteja. Estas diferencias se atribuyen a la composición química de la harina, método de elaboración, espesor de los materiales, y cantidad de plastificante empleado.

En el color, la luminosidad (L^) y el parámetro (b^*), presentaron diferencias significativas entre las muestras. Por lo que la humedad de las películas si presentó influencia sobre esta propiedad. Las películas mostraron una coloración visible café ámbar.

*Para las propiedades mecánicas, la tensión a la fractura y porcentaje de elongación, mostraron comportamientos similares a los con otros trabajos desarrollados.

*No se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre harina y película, con respecto a la cantidad de fenoles y su capacidad antioxidante, por lo que se concluye que el método de termoprensado no influyó en la disminución de dichos compuestos.

Agradecimientos

Se extiende agradecimientos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), a EDI y a COFAA

Referencias

- [1] L. G. Solano-Doblado, L. Alanilla-Beltrán, & C. Jimenez_Marinez, "Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados" *Revista especializada en Ciencias Químico-biológicas*, vol. 21, no. 30, pp.30-42, 2018
- [2] T.G.A. Moreno, "Utilización de harina de plátano (*musa balbisiana*), en el desarrollo de películas biodegradables activas" (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería en Alimentos) (2015).
- [3] A. Aydogdu, E. Kirtil, G. Sumnu, M. H. Oztop, & Y. Aydogdu "Utilization of lentil flour as a biopolymer source for the development of edible films". *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 135 no.23, pp. 46356.2018
- [4] C. V. L. Giosafatto, A. Al-Asmar, A. D'Angelo, V. Roviello. "Preparación y caracterización de bioplásticos a partir de harina de guisantes colada en presencia de transglutaminasa microbiana". *Recubrimientos*. Vol 8, no. 2, pp. 435. 2018
- [5] C. Sumo, D. DeAngelis, I. Rochette, C. Mouquet_River, A. Pasqualone "Influence of the preparation process on the chemical composition and nutritional value of canned puree of kabuli and Apulian black chickpeas. *Heliyon*, vol. 5 no. 1, pp. 1-22, 2019
- [6] O. Díaz, T. Ferreira, O. J. L. Rodríguez & A. Cobos, "Characterization of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Flour Films: Effects of pH and Plasticizer Concentration". *International journal of molecular sciences*, vol. 20 no. 5, pp. 1246. 2019.
- [7] T. Garrido, I. Leceta, S. Cabezudo, P. Guerrero, P & K. de la Caba, "Tailoring soy protein film properties by selecting casting or compression as processing methods". *European Polymer Journal*, vol.85, pp. 499-507. 2016.
- [8] O. F. Camiletti, C. G. Riveros, A. Aguirre & N. R. Grosso "Sunflower oil preservation by using chickpea flour film as bio-packaging material". *Journal of Food Science*, vol. 86, no.1, 61-67. 2021
- [9] R. Sharma & R. Singh, R. "Biological Control of Postharvest Diseases of Fruits and Vegetables by Microbial Antagonists: A Review". *Biological Control*. Vol. 50, no. 1, pp.205-221, 2016.
- [10] S. Galus, E. A. ArikKbar, M. Gniewosz. "Novel materials in the preparation of edible films and coatings. A review". *Coatings*, vol. 10, pp.674. 2020.

- [11] G. Medina, D. Rangel, A. Garza, J. Velazquez-Rodriguez, G. Méndez & V. Arias. "Composición nutricional, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de cascarilla de garbanzo" *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol.67, no. 1, pp. 67-72, 2017
- [12] P.L.M., Pérez, B.L.García & V.R.I. González, "Liberación de compuestos fenólicos ligados en el garbanzo (*Cicer arietinum* L.) utilizando microbiota humana intestinal". *Biotecnia*, vol. 20 no. 3, pp. 146-154. 2018
- [13] Y. Wang, & M. Frei, "Stressed Food—The Impact of Abiotic Environmental Stresses on Crop Quality". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol.141, no. 1, pp.271-286, 2011
- [14] P.M.J. Heiras, L.M.I. Ochoa-Gutiérrez. "Technological properties, antioxidant activity and total phenolic and flavonoid content of pigmented chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars". *International journal of food sciences and nutrition*, vol. 64 no.1, pp.69–76. 2013
- [15] Y.K., Wang, X., Zhang, G.L., Chen, J. Yu. "Antioxidant property and their free, soluble conjugate and insoluble bound phenolic contents in selected beans." *Journal of Functional Foods*. Vol. 24, no 2. pp. 359-362, 2016
- [16] P.L.M., Pérez, O.J.A., Huerta, C.S., Ruiz, M.F.J. Cinco, "Evaluation of Quality, Antioxidant Capacity, and Digestibility of Chickpea (*Cicer arietinum* L. cv Blanoro) Stored under N₂ and CO₂ Atmospheres". *Molecules* vol. 26 no.9, pp. 2773. 2021
- [17] H. M. S., Akhtar, A., Riaz, Y. S., Hamed, M., Abdin, G., Chen, P., Wan & X. Zeng, "Production and characterization of CMC-based antioxidant and antimicrobial films enriched with chickpea hull polysaccharides." *International journal of biological macromolecules*, vol. 118, no. 3, pp. 469-477. 2018.
- [18] R.D., Rachwa, A. Rosiak. "Chickpeas—Composition, nutritional value, health benefits, application to bread and snacks: A review." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 55, no.8, pp. 1137-1145. 2015.

Actividad antimicrobiana sobre *Salmonella typhimurium* con extracto etanólico del fruto de *Sapindus saponaria* L.

J. Garrido-Islas^{1*}, A. García-Ceja¹, R.G. Campos-Montiel², Z.F. García-Pazaran¹, B.S. García-Sánchez¹

¹Ingeniería en Industrias Alimentarias. Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, Av. Tecnológico S/N, Col. El Huasteco, Ciudad Lázaro Cárdenas, Venustiano Carranza, C.P. 73049, Puebla, México.,

²Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Av. Universidad Km. 1, Ex-Hda. de Aquetzalpa AP 32, C.P. 43600, Tulancingo, Hidalgo.

[*jesus.garrido@itsvc.edu.mx](mailto:jesus.garrido@itsvc.edu.mx)

Área de participación: Ingeniería Química

Resumen

Las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) son un problema que enfrenta la industria alimentaria en la actualidad y personas llegan a presentar alergias a ciertos compuestos químicos utilizados para la inhibición bacteriana, disminuyendo el posible uso de estos. Los extractos naturales han tomado fuerza para ser utilizados en la inhibición bacteriana y permitir la inocuidad alimentaria. En la investigación se analizó la inhibición bacteriana del extracto etanólico del fruto de *Sapindus saponaria* L. sobre *Salmonella typhimurium* (ATCC 43971), se manejaron diferentes concentraciones de 10 mg/mL, 20 mg/mL, 30 mg/mL, 40 mg/mL, 50 mg/mL, 60 mg/mL, 70 mg/mL, 80 mg/mL, 90 mg/mL y 100 mg/mL, la inhibición más pequeña que se presentó fue del 15.31% y la mayor de 27.47%, al analizarlos con una prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) demostró diferencia con el control positivo (Ceftriaxona) y las muestras utilizadas, y dentro de las muestras se presentaron diferencias estadísticas.

Palabras clave: *Salmonella*, *Sapindus saponaria*, Inhibición.

Abstract

Foodborne illnesses (ETA) are a problem currently facing the food industry and people become allergic to certain chemical compounds used for bacterial inhibition, reducing their possible use. Natural extracts have gained strength to be used in bacterial inhibition and allow food safety. In the investigation, the bacterial inhibition of the ethanolic extract of the fruit of *Sapindus saponaria* L. on *Salmonella typhimurium* (ATCC 43971) was analyzed, different concentrations of 10 mg/mL, 20 mg/mL, 30 mg/mL, 40 mg/mL were used. , 50 mg/mL, 60 mg/mL, 70 mg/mL, 80 mg/mL, 90 mg/mL and 100 mg/mL, the smallest inhibition that occurred was 15.31% and the largest 27.47%, at analyzing them with a Tukey test ($\alpha = 0.05$) showed a difference with the positive control (Ceftriaxone) and the samples used, and within the samples there were statistical differences.

Key words: *Salmonella*, *Sapindus saponaria*, Inhibition.

Introducción

Enfermedades transmitidas por alimentos

Los microorganismos han desarrollado resistencia hacia algunos agentes antibacterianos, debido al uso indiscriminado de fármacos antibacterianos comúnmente utilizados para el tratamiento de enfermedades, además de la resistencia, algunos antibióticos presentan efectos secundarios que limitan su uso, debido a esto surge la necesidad de descubrir nuevos agentes antibacterianos con efectos secundarios mínimos, y las plantas son una fuente potencial de nuevos prototipos antibacterianos [1].

La resistencia antimicrobiana comenzó a ser detectada poco después de que el uso de antimicrobianos se difundiera para el tratamiento de infecciones en seres humanos y animales. Sin embargo, durante los últimos 15 años se observó una aceleración de su emergencia y diseminación en microorganismos, especialmente en bacterias que afectan a personas y, sobre todo, asociada al abuso o mal uso de dichos fármacos [2].

El uso excesivo de antibióticos en lugar de extractos naturales ha generado resistencia y esto es un problema tanto en la medicina veterinaria como en la salud humana. Variedades de enterobacterias han desarrollado resistencia y llegan a causar enfermedades que no se pueden controlar, por lo que es necesario probar nuevos agentes antibacterianos. En estas condiciones, el uso de algunos productos herbales puede proporcionar una respuesta a la resistencia bacteriana ocasionada por los medicamentos tradicionales [3].

Las ETAs se producen por la ingestión de alimentos y/o bebidas contaminadas con microorganismos patógenos que afectan la salud del consumidor en forma individual o colectiva y son consideradas como una importante carga de enfermedad en el mundo. Estas enfermedades se caracterizan por una variedad de síntomas gastrointestinales, como náuseas, vómito, diarrea, dolor abdominal y fiebre; en algunos casos se pueden presentar complicaciones severas, como sepsis, meningitis, abortos, síndrome de Reiter, síndrome de Guillan Barré o la muerte [4].

Microorganismos causantes de enfermedades

Cuando en el alimento está presente un patógeno que se establece y se multiplica en el consumidor. Tiene dos variantes: a) infecciones invasivas: caracterizadas porque el microorganismo coloniza tejidos y órganos del afectado. Este grupo comprende virus, protozoos parásitos y bacterias como *Salmonella*, *Aeromonas*, *Campylobacter*, *Shigella*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Yersinia* y *Escherichia coli* enteroinvasiva (EIEC). b) Toxiinfecciones: ocasionadas por bacterias no invasivas, pero capaces de colonizar y multiplicarse en el tracto intestinal del hospedero, donde excretan sus toxinas, tal es el caso de: *Vibrio cholerae*, *Bacillus cereus* (cepas productoras de enterotoxinas), *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens* y las variantes enteropatógenas de *E. coli* productoras de enterotoxinas, verotoxinas, o ambas [5].

Adicionalmente, este problema se incrementa con la aparición de nuevas formas de transmisión, en grupos poblacionales vulnerables y el incremento de la resistencia bacteriana. Las infecciones humanas causadas por agentes patógenos (*E. coli*, *Salmonella* spp., *Shigella*, *Listeria monocytogenes*), las intoxicaciones provocadas por *Staphylococcus aureus*, *Clostridium botulinum*, mohos productores de micotoxinas y las toxiinfecciones generadas por *Bacillus cereus*, *Vibrio cholerae*, *Clostridium perfringens*, entre otros [6].

Salmonella typhimurium se estudia comúnmente porque es un importante patógeno humano y de calidad alimentaria. *S. typhimurium* se describió por primera vez como el agente causal de una enfermedad similar a la tifoidea en ratones. La población de *S. typhimurium* alcanza altos números en el intestino grueso, que también alberga la mayor comunidad microbiológica del cuerpo humano [7].

Salmonella spp. es el agente causal de infecciones gastrointestinales conocidas como salmonelosis, enfermedad considerada como un problema de salud pública a nivel mundial [8]. La principal ruta de transmisión para este patógeno es a través de la ingesta de agua y alimentos contaminados, como la carne y sus derivados, los cuales, si no cumplen con las normas de calidad e higiene pueden ocasionar importantes problemas a la salud humana [9].

Uso de plantas medicinales

En regiones donde por diversos motivos no llegan los beneficios de la medicina moderna, la herbolaria nativa suele ejercer un importante papel. La sabiduría popular menciona la existencia de diversas sustancias, planta y alimentos que poseen propiedades desinfectantes y antisépticas, tales como: alimentos naturales transformados (lácteos, encurtidos y oleáceas) y no transformados (ajo, cebolla, perejil, zanahorias, cítricos, entre otros), condimentos, especias y plantas aromáticas [10].

Por ellos, muchas investigaciones se centran en el uso de plantas medicinales, ya que existen numerosos trabajos realizados en medicina humana y veterinaria sobre las bondades terapéuticas que pueden tener algunas plantas frente a diferentes patógenos. Hoy en día se puede encontrar una amplia gama de productos de origen vegetal

con efecto ya sea bactericida o bacteriostático que sirven para controlar el crecimiento de diversos microorganismos patógenos, debido a que presentan compuestos o metabolitos que inhiben su crecimiento [11].

La especie *Sapindus saponaria* L. de distribución tropical, se encuentra abundantemente en Asia y América, especialmente en Brasil. El aceite de jaboncillo obtenido de la semilla de *S saponaria* L. se compone de oleico, palmítico, araquídico, ácidos grasos esteárico, eicosenoico, linoleico y behénico, y ha sido designado como una fuente de biodiesel debido a la gran cantidad de lípidos contenidos en la semilla (superior al 40% p/p) [12]

La planta ha sido ampliamente utilizada por los habitantes de las regiones norte y noreste de Brasil para el tratamiento de inflamaciones, lesiones e incluso cáncer. En estos lugares, la parte de la planta más utilizada es la fruta, pero no hay informes del uso de semillas como agente antibacteriano y antioxidante en otros países. La especie ha sido estudiada por sus acciones biológicas como diurético y tónico digestivo, antiofídico, fungicida, antitumoral, leishmanicida y tripanocida y potencial larvicida. Así, los estudios con esta especie contribuyeron a la identificación y aislamiento de varios compuestos químicos bioactivos [13]



Figura 1: Fruto de *Sapindus saponaria* L.

El género *Sapindus* (Sapindaceae) está formado por unas 12 especies de árboles o arbustos distribuidos por los trópicos y subtropicos del mundo [14].

El actual trabajo tuvo como objetivo realizar un análisis de actividad antimicrobiana del extracto etanolico del fruto de *Sapindus saponaria* L., sobre *Salmonella typhimurium* (ATCC 43971), mediante la técnica de Kirby-Bauer. Este trabajo es la continuación del trabajo de "Evaluación del extracto etanolico de la hoja de *Sapindus saponaria* L (Gualulu) sobre *Escherichia coli*.

Metodología

Extracción del compuesto

La recolección de la muestra se realizó en la región de Lázaro Cárdenas, Puebla. Para esto se obtuvieron los frutos que presentaran en un estado fitosanitario correcto, el fruto debe estar libre de plaga, de enfermedades o de que presente algún estado de descomposición, una vez terminada la selección se secó en un horno de convección marca LUZEREN a una temperatura de $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$, durante un periodo de 72 horas, al terminar el fruto se almaceno en bolsas herméticas y se guardaron hasta su uso.

El fruto se sometió a una molienda para posteriormente ser tamizado hasta tener partículas de $1\text{ mm} \pm 0.1$, el polvo fino se almacenó en un frasco obscuro hermético para su posterior uso y el polvo grueso fue nuevamente molido hasta obtener un polvo fino y ser guardado.

Se tomaron 100 g de polvo y se mezcló con metanol en una relación de 1:10 p/v, se homogenizo durante 5 minutos con ayuda de un bortex marca LB PRO MX-S, posteriormente se ocupó un baño ultrasónico AS7240B para realizar la extracción de los compuestos, el cual se realizó a 55 kHz por un periodo de 10 minutos dentro de

un frasco obscuro a temperatura ambiente [15], al terminar se filtró al vacío con papel filtro Whatman N°40 y se destilo al vacío a $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ con ayuda de un baño maría, hasta obtener el extracto (Figura 2).



Figura 2: Extracto del fruto de *Sapindus saponaria* L.

Activación de la bacteria

La bacteria se tenía guardada en tubos eppendorf con 20% de caldo nutritivo y 80% glicerol a una temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$, para activarla se tomaron tres azadas con una aza microbiológica estéril del tubo y se mezcló en caldo nutritivo (marca Bioxon), esto se realizó por triplicado, para posteriormente dejar los tubos en incubación a $37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ por 24 horas [16].

Preparación del extracto

El extracto se preparó en diferentes concentraciones, las cuales fueron 10 mg, 20 mg, 30 mg, 40 mg, 50 mg, 60 mg, 70 mg, 80 mg, 90 mg y 100 mg en 1 mL de DMSO (Figura 3). Estos extractos se prepararon el mismo día que se utilizaron para evitar que se oxidaran o perdieran su acción.

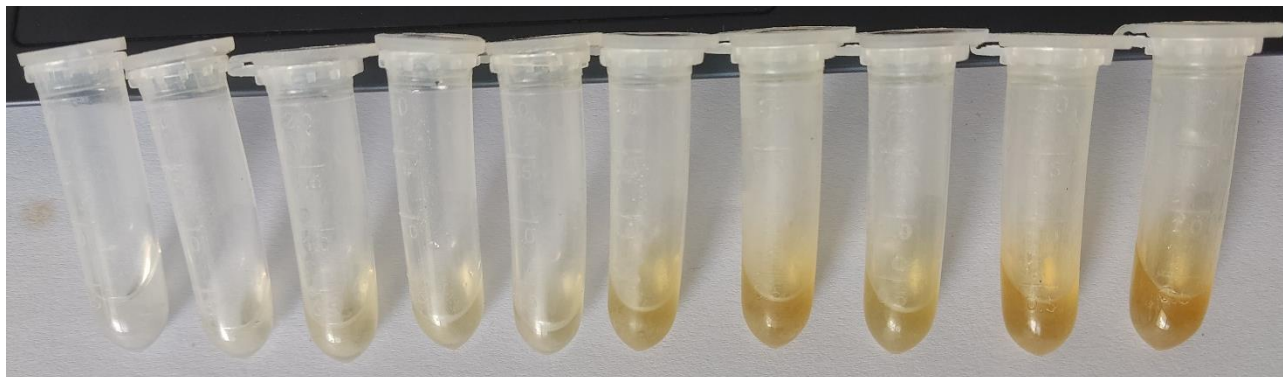


Figura 3: Concentraciones del extracto (de izquierda a derecha)

La bacteria se ajustó a 0.5 de acuerdo a la escala de McFarland, siguiendo el procedimiento descrito [16], se suspendieron las cepas en 60 mL de solución salina estéril en la cual se inoculo *Salmonella typhimurium*, se leyó la absorbancia y el resultado fue comparado con la absorbancia del tubo 0.5 de la escala de McFarland, el tubo ajustado presento una concentración entre 106 UFC/mL a 108 UFC/mL.

Se preparó agar Mueller Hinton (Marca Bioxon) de acuerdo a las especificaciones del proveedor y se esterilizo [17], se vertieron 20 mL de agar a una temperatura aproximada de $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$. Una vez que el agar solidifico se colocaron los sensidiscos como se muestran en la figura 4. Ya colocados los sensidiscos se colocaron 20 μL del extracto, en cada uno de ellos (el orden de acomodo de los sensidiscos fue de 1 – 10mg/mL, 2 – 20 mg/mL, 3 -

30 mg/mL, 4 - 40mg/mL, 5 - 50mg/mL, 1 - 60 mg/mL, 2 - 70 mg/mL, 3 – 80 mg/mL, 4 - 90 mg/mL y 5 - 100 mg/mL), el control negativo (DMSO) y el control positivo (Ceftriaxona), se colocaron en una caja independiente.

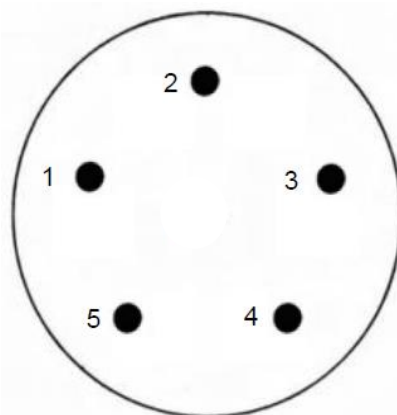


Figura 4: Acomodo de sensidiscos.

Una vez colocados con sensidiscos con el extracto, se dejó la caja Petri a 37 °C ±1 durante 24 horas. Todos los extractos se realizaron por quintuplicado y los controles por triplicado.

Porcentaje de inhibición

Para calcular el porcentaje de inhibición se utilizó el método descrito por [18], utilizando la siguiente formula:

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{(D. \text{ halo del extracto} - D. \text{ halo de blanco})}{(D. \text{ halo control positivo} - D. \text{ halo blanco})} * 100$$

Resultados y discusión

Los resultados se analizaron con el programa Minitab 19 mediante una prueba Tukey ($\alpha = 0.05$) y se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones analizadas y los controles utilizados como positivos y negativos.

La actividad antibacteriana del extracto etanólico del fruto de *Sapindus saponaria* L. en diferentes concentraciones frente a la cepa *Salmonella typhimurium* ATCC 43971 presentó inhibición como se muestra en la tabla 1, donde se observa que la concentración que mostro un mayor halo de inhibición ante la bacteria fue la de 100 mg/mL (**b**) la cual presento similitud estadística con diferentes muestras las cuales son las siguientes, presento una mayor similitud con las concentraciones de 90, 80 mg/mL, ya que estas concentraciones comparten la letra **b** y entre ellas presentan la letra **c** como similitud estadística, una menor similitud con las concentraciones de 70, 60 y 50 mg/mL compartiendo la letra **b** con la concentración más alta y la letra **c** con las concentraciones de 90 y 80 y entre ellas comparten la letra **d**, y por ultimo tiene una mínima similitud con la concentración de concentración de 40 mg/mL, ya que aunque comparten la letra **b**, pero esta concentración presenta otras tres letras que son **c**, **d** y **e**, esta concentración comparte estas letras con las concentraciones más bajas y estas son estadísticamente diferentes a la muestra más alta. En relación al antibiótico todas las muestras fueron estadísticamente diferentes ya que no comparten ninguna letra. EL DMSO no presento inhibición contra la bacteria.

Una vez comparada la tabla 1 con la figura 5, se aprecia que los halos de inhibición muestran un aumento de diámetro entre una muestra y la otra y llegando a la muestra de 50 mg/mL el aumento es mucho más estable, mostrando lo que indica la prueba estadística y la similitud que existen entre dichas muestras.

Al analizar el porcentaje de inhibición con la fórmula utilizada por [19], obtenido el diámetro del control positivo de 38.79 mm y diámetro de control blanco de 0 mm y al aplicar la formula se obtuvieron los datos mostrados en la tabla 2, en la cual se observa que a partir de la concentración 40mg/mL, se mantiene mucho mayor estable, corroborando el análisis estadístico.

Tabla 1: Determinación de halos de inhibición en *Salmonella typhimurium*

Concentración del extracto (mg/mL)	n	Promedio (mm)
10	5	5.94 ± 1.50 ^e
20	5	6.36 ± 1.88 ^{de}
30	5	7.36 ± 2.03 ^{cde}
40	5	8.21 ± 2.02 ^{bcde}
50	5	8.79 ± 1.33 ^{bcd}
60	5	8.66 ± 0.67 ^{bcd}
70	5	8.79 ± 0.39 ^{bcd}
80	5	9.05 ± 0.25 ^{bc}
90	5	9.25 ± 0.34 ^{bc}
100	5	10.65 ± 0.24 ^b
DMSO (-)	3	0 ± 0.00 ^f
Antibiótico (+)	3	38.79 ± 0.37 ^a

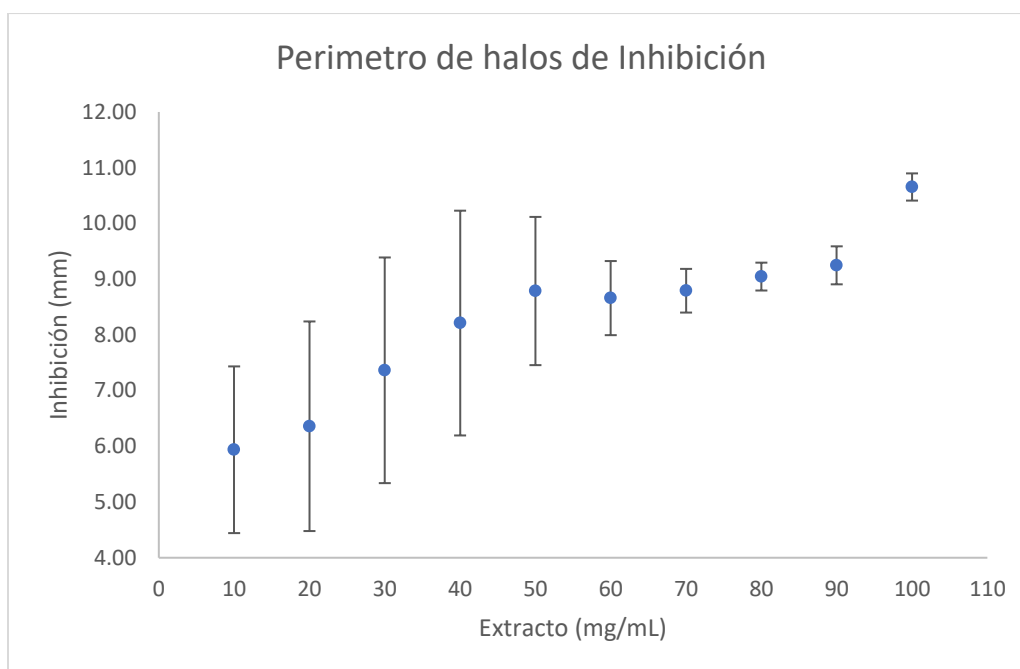


Figura 5: Perímetro de halos de inhibición

La comparación de inhibición que presenta el extracto con lo realizado por otros autores se encontró [19] inhibición contra *Staphylococcus aureus* a partir de una concentración de 150 mg/mL, en el caso de [20] encontró que para *Salmonella typhi* (ATCC14028) y *Salmonella choleraesuis* (ATCC 10708) con el extracto de *Croton draco* mostro actividad antibacteriana a partir de 100 mg/mL. [21] demuestra que los aceites esenciales de las plantas presentan inhibición bacteriana, aunque no se ha obtenido la composición del extracto, el fruto contiene aceites como lo explica [11] y a estos aceites se le atribuye la actividad que presenta.

En comparación con el trabajo de [22] en donde se realizó el extracto etanólico de la hoja y se realizó la inhibición de *E. coli*, mostro que todas las concentraciones fueron iguales estadísticamente, mientras que en las concentraciones del fruto si mostro diferencia significativa al momento de inhibir la bacteria.

Trabajo a futuro

Se pretende seguir analizando con más bacterias, para posteriormente realizar aplicaciones a productos procesados y no procesados y conocer si existe una mejora en la vida de anaquel del producto.

Tabla 2: Porcentaje de inhibición de *Salmonella typhimurium*

Concentración del extracto (mg/mL)	Porcentaje de inhibición
10	15.31%
20	16.40%
30	18.98%
40	21.17%
50	22.65%
60	22.33%
70	22.67%
80	23.32%
90	23.84%
100	27.47%

Conclusiones

Los aceites esenciales como el oleico, palmítico, araquídico, esteárico, eicosenoico, linoleico y behénico, presentes y extraídos del fruto de jaboncillo (*Sapindus saponaria* L), inhibieron el crecimiento de *Salmonella typhy* en concentraciones de 10 mg/mL hasta 100 mg/mL, mostrando diferencia significativa a partir de la concentración de 40 mg/mL, sin embargo, se presentó diferencia significativa entre el antibiótico (0.1mg/mL) con los diferentes tratamientos. Dentro de la inhibición se alcanzó un 27.47% con la concentración de 100 mg/mL. La actividad antimicrobiana puede deberse a la acción de uno o mezcla de aceites esenciales presentes en el fruto. Los extractos etanólicos obtenidos podrán ser utilizados en la industria de alimentos sin que generen alguna reacción negativa sobre el producto, pero si contra bacterias causantes de deterioro en los alimentos

Referencias

- [1] P. Thota, P.K. Bhogavalli and S.K. Chenreddy. "Phytochemical Investigation and Antibacterial Screening of Leaf Extracts of *Sapindus saponaria* Vahl," *Research Journal of Pharmacy and Technology*, vol.5, no. 2, pp. 273-276, 2012.
- [2] L. Calvino. "Vigilancia de la resistencia antimicrobiana en animales: profundizar las iniciativas y ampliar las capacidades", *Revista Argentina de Microbiología*, vol. 53, pp. 87-88, 2021.
- [3] S. Rahman, A. Khasru, R. Islam and M. Hossain. "Antibacterial activity of natural spices on multiple drug resistant *Escherichia coli* isolated from drinking water, Bangladesh", *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*, vol. 10, no. 1, art. No. 10, 2011.
- [4] S. Fernández, J. Marcia, J. Bu, Y. Baca, V. Chavez, H. Montoya, I. Varela, J. Ruiz, S. Lagos and F. Ore. "Enfermedades transmitidas por Alimentos (ETAs); Una Alerta para el Consumidor", *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, vol. 2, no. 2, pp. 2284-2298. 2021 DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i2.433
- [5] H. Rodríguez, G. Barreto, M. Sedrés, J. Bertot, S. Martínez and G. Guevara. "Las enfermedades transmitidas por alimentos, un problema sanitario que hereda e incrementa el nuevo milenio", *Revista Electronica Veterinaria*, vol. 16, no. 8, pp. 1-27, 2015.
- [6] C. Palomino-Camargo, Y. Gonzáles-Muñoz, E. Pérez-Sira and V.H. Aguilar. "Metodología delphi en la gestión de la inocuidad alimentaria y prevención de enfermedades transmitidas por alimentos", vol. 35, no. 3, pp. 483-490, 2018.
- [7] A.W.L. Rogers, R.M. Tsois and A. J. Bäumlér. "*Salmonella* versus the Microbiome", *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, vol. 85, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1128/MMBR.00027-19>

- [8] A. Kumar, A. Allison, M. Henry, A. Scales and A.C. Fouladkhah. "Development of salmonellosis as Affected by Bioactive Food Compounds", *Microorganisms*, vol. 18;7, no. 7(9), 2019, DOI: [10.3390/microorganisms7090364](https://doi.org/10.3390/microorganisms7090364)
- [9] M.S.R. Fachmann, C. Löfström, J. Hoorfar, F. Hansen, J. Christensen, S. Mansdal and M.H. Josefsen. "Detection of *Salmonella enterica* in Meat in Less than 5 Hours by a Low-Cost and Noncomplex Sample Preparation Method", vol. 83, no. 5, 2017, DOI: [10.1128/AEM.03151-16](https://doi.org/10.1128/AEM.03151-16)
- [10] A. Arroyo-Lara, L.A. Landín-Grandvallet, A. Alonso-Bustamante, M.A. Sánchez-Aguilar and G. Suárez-Franco. "Actividad inhibitoria de *Allium cepa* y *Allium sativum* sobre cepas de *Escherichia coli* y *Salmonella enteritidis*", *Biológico Agropecuaria Tuxpan*, vol 3, no. 5, pp. 1045-1052, 2015.
- [11] L. Sorroza, M.I. Campoverde and R.A. Santacruz-Reyes. "Estudio preliminar del extracto de dos plantas medicinales con efecto antibacteriano para uso en acuicultura", *Revista AquaTIC*, vol.49, pp. 1-7, 2017
- [12] B.L. Pelegrini, E.A. Sudati, F. Ré, A. L. Moreira, I.C. Piloto, A.R. Sampaio, N.M. Kimura and M.M. de Souza. "Thermal and rheological properties of soapberry *Sapindus saponaria* L. (*Sapindaceae*) oil biodiesel and its blends with petrodiesel", *FUEL*, no. 199, pp. 627-640, 2017.
- [13] G. D. Bocayuva, C.A. Fortes, I. Felzenszwalb, E. K. Carrao, C. F. Araújo-Lima and C.L. Siqueira. "In vitro biochemical characterization and genotoxicity assessment of *Sapindus saponaria* seed extract", *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 276, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114170>
- [14] O.A. Abreu. "Potencial medicinal del género *Sapindus* L. (*Sapindaceae*) y de la especie *Sapindus saponaria* L." *Rev Cubana Plant Med*, vol. 10 n. 3-4. 2005.
- [15] E. Corona-Jiménez, N. Martínez-Navarra, H. Ruiz-Espinosa and J. Carranza-Concha. "Ultrasound-Assisted extracción of cphenolics compounds from chia (*Salvia hispánica* L.) seeds and their antioxidant activity". *Agrociencia*, vol. 50, pp. 403-412, 2016.
- [16] C. Carrillo-Tomalá and R. Díaz-Torres. "Actividad antimicrobiana de extractos hidroalcohólicos de hojas de dos variedades de *Mangifera* L.". *Revista Ciencia UNEMI*, vol. 12, no. 31, pp. 69 – 77, 2019.
- [17] M. Montero-Recalde, L. Vayas, D. Avilés-Esquivel, P. Pazmiño and V. Erazo-Gutierrez. "Evaluación de dos métodos para medir la sensibilidad de inhibición de crecimiento de la cepa certificada de *Staphylococcus aureus* subsp. *Aureus*". *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, vol. 29, no. 4, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v29i4.15185>
- [18] J.E. Neira Llerena. "Evaluación de la actividad antimicrobiana de los extractos etanólicos de las plantas medicinales utilizadas por los pobladores de tuctumpaya, quequeña y chiguata, frente a bacterias gram positivas: *Staphylococcus aureus* – *streptococcus pneumoniae* causantes de infecciones de importancia médica, arequipa – Perú". Tesis Titulo Profesional de Biólogo. Departamenteo de Microbiología y Patología, UNSA, Arequipa, Perú, 2018.
- [19] A. Ramírez, S. Luz, B. Díaz and E. Hilda. "Actividad antibacteriana de extractos y fracciones del ruibarbo (*Rumex conglomeratus*)", vol. 13, no. 33, pp. 397-400, 2007.
- [20] A. Morales-Ubaldo, J. Hernández-Alvarado, B. Valladares-Carranza, V. Velázquez-Ordoñez, L. Delgadillo-Ruiz, C. Rosenfeld-Miranda, N. Rivero-Pérez and A. Zaragoza-Bastida. "Actividad antibacteriana del extracto hidroalcohólico *Croton draco* sobre bacterias de importancia sanitaria", *Abanico Veterinario*, vol. 10, no.1, pp. 1-10, 2020.
- [21] C.M. Zamora-Ramírez and C. J. Toro-Huamanchumo. "Antibiotic activity of *Eucalyptus globulus* against Gram positive bacteria: a review article", *Revista Médica Vallejana*, vol. 10, no.2, pp. 93-104.
- [22] J. Garrido-Islas, N.E. Jara-Ramírez, A. García-Ceja, A. Trapala-Islas and L. González-Montiel. "Evaluación del extracto etanolico de la hoja de *Sapindus saponaria* L. (Gualulu) sobre *Escherichia coli*." *Journal CIM*, vol. 9, no. 1, pp. 1216-1222, 2021.

SISTEMAS COMPUTACIONALES

- SC01 **Sistema de Seguridad Inteligente dedicado a Centros de Datos Tipo Tier I**
Onofre Ruiz, Arturo Altamirano Gutiérrez, Rosalba Gallardo Gallardo, José Carlos Gómez Pomie y Michel Orozco Carrera. SC-3
- SC02 **Implementación de Plataforma Web Declaranet para el Poder Judicial del Estado de San Luis Potosí**
José Juan Juárez García, Claudia Ivone Canela Guzmán, Andy Elder Lucero Medina, Edgar Osiel Martínez Rodríguez y José Luis Contreras Hernández. SC-13
- SC03 **Medición del desempeño de clasificadores usando atributos sintéticos polinomiales y selección de atributos con MrMR**
Arturo Banda-Peláez, Keren Ramírez-Vergara, Asdrúbal López-Chau, Valentín Trujillo Mora y Carlos Omar González Morán. SC-22
- SC04 **Modelo para un repositorio digital de segmentos visuales en LSM utilizando Inteligencia Artificial**
María Luisa Galaz Palma, César Rose-Gómez, María Trinidad Serna Encinas y Rafael Galaz. SC-31
- SC05 **Interpretación de letras en lenguaje de señas a través de imágenes utilizando redes neuronales convolucionales**
Marco Antonio Aguilar Cortés, Miguel Aguilar Cortés, Jacobo Robles Calderón, Adriana Pérez López y Héctor Vicenteño Rivera. SC-41
- SC06 **Nube dinámica de palabras basada en SenticNet para contexto político mexicano**
Keren Ramírez-Vergara, Luis Arturo Banda Peláez, Asdrúbal, Rafael Rojas Hernández y Jorge Bautista López. SC-50
- SC07 **Aplicación móvil para el monitoreo de actividades físicas en estudiantes de educación primaria.**
Luis Alberto León-Bañuelos, Gabriela González-Vázquez, Anabel Díaz-Bernal, Hortencia Alejandra Bastida González y Jorge Vargas Ortiz. SC-60
- SC08 **Aplicación Móvil para Monitoreo e Historial de Precios de Gasolina y Diésel en Estaciones de Servicio.**
Ángela Reyes, Sergio Zepeda e Ismael Robles SC-70
- SC09 **Ingeniería inversa y mantenimiento perfectivo en software científico: caso PETGEM**
Miguel Ángel Tapia-Arcos, María Angélica Cerdán, Omar Alba-Hernández, Octavio Castillo-Reyes y Salvador Herrera-Velarde. SC-79
- SC10 **SISTEMA SCADA DE BAJO COSTO PARA INVERNADEROS 4.0**
Alan Rodríguez Zepeda, Jesús Alberto Verduzco Ramírez, Martha Elizabeth Evangelista Salazar, Noel García Díaz y Ricardo Gutiérrez Valenzuela. SC-89
- SC11 **Comparación de métodos de aprendizaje supervisado para la detección de lenguaje ofensivo en textos en español**
Jesús Donovan Maldonado Mondragón, Asdrúbal López Chau, Maricela Quintana López y Saturnino Job Morales Escobar. SC-99
- SC12 **Sistema inteligente basado en redes neuronales para asistir la comunicación de personas con disartria**
Paloma Valeria Contreras González, María Trinidad Serna Encinas, Rosalía del Carmen Gutiérrez Urquidez, César Enrique Rose Gómez y Rafael Armando Galaz Bustamante. SC-109
- SC13 **Aplicación móvil para la detección de caídas en adultos mayores**
Lamia Hamdan Medina, Susana Flores Alarcón, Silvana Marina Flores Barajas, Claudia Josefina Torrero Flores e Iván de Jesús García Moreno. SC-119

- SC14 **Sistema IoT para la prevención de incidentes de origen eléctrico**
Ricardo Castro Valdivia, Michel Orozco Carrera, Arturo Escobar García, Jesús Ramírez Figueroa y Erick Javier Flores Trujillo. SC-128
- SC15 **Estimación de profundidad utilizando visión monocular, para un sistema de realidad aumentada**
Saúl Martínez-Díaz, Daniel Alejandro Contreras Suárez, Israel Marcos Santillán Méndez e Iliana Castro Liera. SC-137
- SC16 **Una Mejora al algoritmo Búsqueda Tabú para resolver el problema Single Machine Total Weighted Tardiness**
Adriana Mexicano Santoyo, Jesús Carlos Carmona Frausto, Salvador Cervantes Álvarez, Pascual Noradino Montes Dorantes y José Antonio Cervantes Álvarez. SC-146
- SC17 **La evolución de los agentes artificiales a los agentes morales artificiales**
Rosa López Ruiz, José-Antonio Cervantes y Sonia López. SC-156

Sistema de Seguridad Inteligente dedicado a Centros de Datos Tipo Tier I

E. Onofre Ruiz^{1*}, A. Altamirano Gutiérrez², J.C. Gómez Pomie³, R. Gallardo Gallardo⁴, M. Orozco Carrera⁵,
Ingeniería en Redes Inteligentes y Ciberseguridad, Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz,
Av. Universidad N° 350, Carretera Federal Cuitláhuac - La Tinaja, Localidad Dos Caminos, Cuitláhuac, Ver.
*eric.onofre@utcv.edu.mx, 20193L001008@utcv.edu.mx, 20193L001056@utcv.edu.mx,
20193L001097@utcv.edu.mx, michel.rozco@utcv.edu.mx

Área de participación: Sistemas Computacionales

Resumen

La seguridad en los centros de datos se ha convertido en una inquietud relevante para las organizaciones de las tecnologías de la información. Este proyecto plantea un sistema de seguridad inteligente enfocado en centros de datos Tier I, siendo útil y eficaz para fortalecer sistemáticamente la seguridad empresarial, manteniendo seguros los dispositivos, los procesos y operaciones, evitando amenazas físicas. El presente proyecto se desarrolló utilizando la metodología PPDIOO que está compuesta por seis fases. La implementación del sistema determinó eventos físicos que sucedieron en el centro de datos, mismos que se registraron en una base de datos. Para monitorizar los eventos con fecha y hora en una página web se utilizaron dispositivos de IoT, tales como Arduino y sensores, un lector de huella dactilar para el control de acceso, una cámara IP y un servidor. Los resultados se centran en minimizar vulnerabilidades y pérdidas económicas en el centro de datos.

Palabras clave: Centro de Datos, monitorización, seguridad, Tier I

Abstract

Security in data centers has become a relevant concern for information technology organizations. This project focuses on an intelligent security system dedicated to Tier I data centers by being useful and effective to systematically strengthen business security, keeping devices, processes, and operations safe by avoiding physical threats. This project was developed by using the PPDIOO methodology which is composed of six phases. The implementation of the system determined physical events that occurred in the data center which were saved in a database. In order to monitor events with date and time on a web page, IoT devices were used, such as Arduino and sensors, a fingerprint reader for access control, an IP camera and a server. The results focus on minimizing vulnerabilities and economic losses in the data center.

Keywords: Data Center, monitoring, security, Tier I

Introducción

En la actualidad, la transformación digital es clave para el éxito o el fracaso de cualquier iniciativa de transformación [1], cada día las empresas de todo el mundo se interconectan digitalmente, manejando un gran volumen de información, esto se debe a que inician con el proceso de modernización de sus operaciones para ofrecer a sus clientes productos y/o servicios de calidad, lo que hace necesario un espacio físico para el procesamiento y almacenamiento de los datos, por lo que las organizaciones cuentan con un Centro de Datos en sus instalaciones en donde almacenan y gestionan información de valor crítico que debe ser protegida.

Los centros de datos juegan un papel importante en las empresas como se mencionó anteriormente, ya que a medida que estas crean nuevas formas de trabajo dejan de ser simples centros de procesamiento, logrando consigo adquirir prioridad y relevancia debido al valor funcional que otorgan. Con el aumento de importancia y valor funcional, incrementan los riesgos en la seguridad lo que vuelve a la gestión manual del mantenimiento y cuidado de estos, una tarea cada vez más difícil. Dicho con palabras de [2], hace algunos años se usaban ciertos métodos que eran comunes para monitorear el centro de datos, donde el personal del área informática tenía que caminar por las instalaciones con termómetros para conocer el estado actual del ambiente, además de ciertas amenazas como el ingreso del personal sin autorización o actos inadecuados con los dispositivos que forman parte del centro de datos. A medida que pasa el tiempo, la tecnología evoluciona y con ella las demandas que

esta genera, por lo que, la automatización es un factor importante para ayudar a simplificar la mayoría de las operaciones diarias con respecto al monitoreo y seguridad.

Hoy en día, existen algunas empresas que no cuentan con la tecnología e infraestructura adecuada para monitorear y controlar el centro de datos, derivado del costo elevado las aplicaciones y licencias, por lo que, la falta de un sistema de monitoreo y seguridad automatizado impide a las organizaciones administrar y contar con información del estado en que se encuentra el centro de datos, implicando problemas de seguridad física, que podría ser una determinante en la pérdida de información y posición en el negocio. Por lo anteriormente descrito, el Sistema de Seguridad Inteligente Dedicado a los Centros de Datos de tipo TIER I por sus siglas (SSIDCD), tiene como objetivo brindar un sistema completo a través de sensores, videovigilancia y un control de acceso capaz de automatizar y mejorar la seguridad física dentro de las instalaciones. Lo anterior se pretende alcanzar resguardando la seguridad física, mediante sensores capaces de registrar parámetros ambientales que, posteriormente son almacenados en un servidor con la ayuda de dispositivos IoT (Internet Of Things). Además, cuenta con una terminal biométrica integrada con sensor BioID y comunicación Wi-Fi que es de gran ayuda para el control y gestión del acceso del personal autorizado.

El presente artículo describe el desarrollo del proyecto utilizando la metodología PPDIOO (Prepare, Plan, Design, Implement, Operate y Optimize). Esta permite la definición y ejecución de las actividades requeridas con ayuda de un sistema de planeación, diseño, mantenimiento y optimización. El proyecto se desarrolla con un enfoque de investigación mixta, de modo que, al ser un proyecto de desarrollo e implementación de un sistema de seguridad inteligente es necesaria la recolección de información de diferentes fuentes, para comprender el por qué y, para qué; de esta manera generar una hipótesis e interpretación de la situación mediante los conocimientos obtenidos a través de la investigación.

Metodología

A veces, los clientes piensan que las redes son solo dispositivos que dejas ahí hasta que mueren. Reemplaza los dispositivos defectuosos uno por uno, según lo dicten las fallas, y ya está todo listo. Este enfoque incluso puede funcionar bien para un entorno muy estático, pero es probable que se desmorone en la empresa [3]. El presente proyecto se llevó a cabo bajo la metodología PPDIOO desarrollada por la Compañía Cisco System dando como resultado una de las mejores prácticas en el mercado teniendo como enfoque principal definir las actividades mínimas requeridas para garantizar el ciclo de vida de una arquitectura de red en seis fases. A continuación, se describen algunas de las ventajas que se tiene al implementar esta metodología.

- Baja el costo total de propiedad por validación de requerimientos de tecnología y planteamiento para cambios de infraestructura y requerimientos de recursos.
- Incrementa la disponibilidad de la red por la producción de un sólido diseño y validaciones en las operaciones.
- Mejora la agilidad de negocios estableciendo requerimientos y estrategias tecnológicas.
- Velocidad de acceso para aplicaciones y servicios.

Fase I. Preparación

En la fase de preparación del ciclo de vida de la red, una empresa establece los requerimientos de negocio y la visión tecnológica correspondiente [4]. Se realizó la recopilación de información necesaria para llevar a cabo el proyecto, como la tecnología por utilizar, el impacto esperado, entre otros. Para la obtención de información se realizó una encuesta de evaluación del estado actual de la empresa y un documento de requisitos del cliente; estos formatos ayudaron a identificar la infraestructura de red de la empresa, así como la tecnología actual, lo que permitió determinar los sensores a ser utilizados y su propósito (que detectarán y como lo harán) porque para seleccionar un sensor es importante considerar su función, características técnicas y la necesidad de implementarlo.

Fase II. Planeación

En la etapa de planeación se definieron las actividades que se llevarán a cabo en el transcurso del proyecto, para ello, se elaboró un cronograma de actividades para definir y asignar responsables de las tareas por realizar, tomando en cuenta el tiempo asignado. En esta etapa se validaron los recursos con los que se cuenta, como los factores negativos que afecten al correcto funcionamiento del sistema. Para obtener la información necesaria se llevó a cabo una recopilación y comparación de información en varias fuentes confiables y/o proyectos similares

para establecer una idea clara de los posibles factores de riesgo a futuro. Los artefactos generados en la etapa de planeación consistieron en un documento de especificaciones de requerimientos (SR), donde se describieron los servicios que ofrecerán y las restricciones asociadas a su funcionamiento, el plan de prueba de soluciones (STP), sirvió como guía para la realización de las pruebas y permitió al sistema cumplir las necesidades establecidas por los usuarios, por último, en el formulario de inspección del sitio (SSF), se registraron las observaciones hacia el área donde posteriormente se realizó el proyecto.

Fase III. Diseñar

De acuerdo con [5], en esta etapa se desarrolla el plan detallado que cumple con todos los requisitos técnicos y se alinea con la dirección estratégica del negocio. En la fase de diseño, se desarrolló el diseño de bajo nivel por sus siglas en inglés (LLD), para describir el diseño lógico y físico del proyecto. La figura 1 muestra el diseño lógico que se realizó acorde a la arquitectura de 4 capas del internet de las cosas donde se muestra la jerarquía del sistema de seguridad inteligente. La figura 2 y 3 muestran el diseño físico donde se identifican los subsistemas que componen el sistema de seguridad en el centro de datos, su ubicación física y las relaciones entre estos, es decir, se elaboró un plano de distribución física para determinar los puntos específicos de los componentes con base en los requerimientos solicitados, el cual permite definir la ruta y ubicación de los equipos conectados. Lo anterior se realizó de acuerdo con los estándares EIA/TIA-606, ANSI/EIA/TIA-568, ANSI/TIA/EIA-569 A.

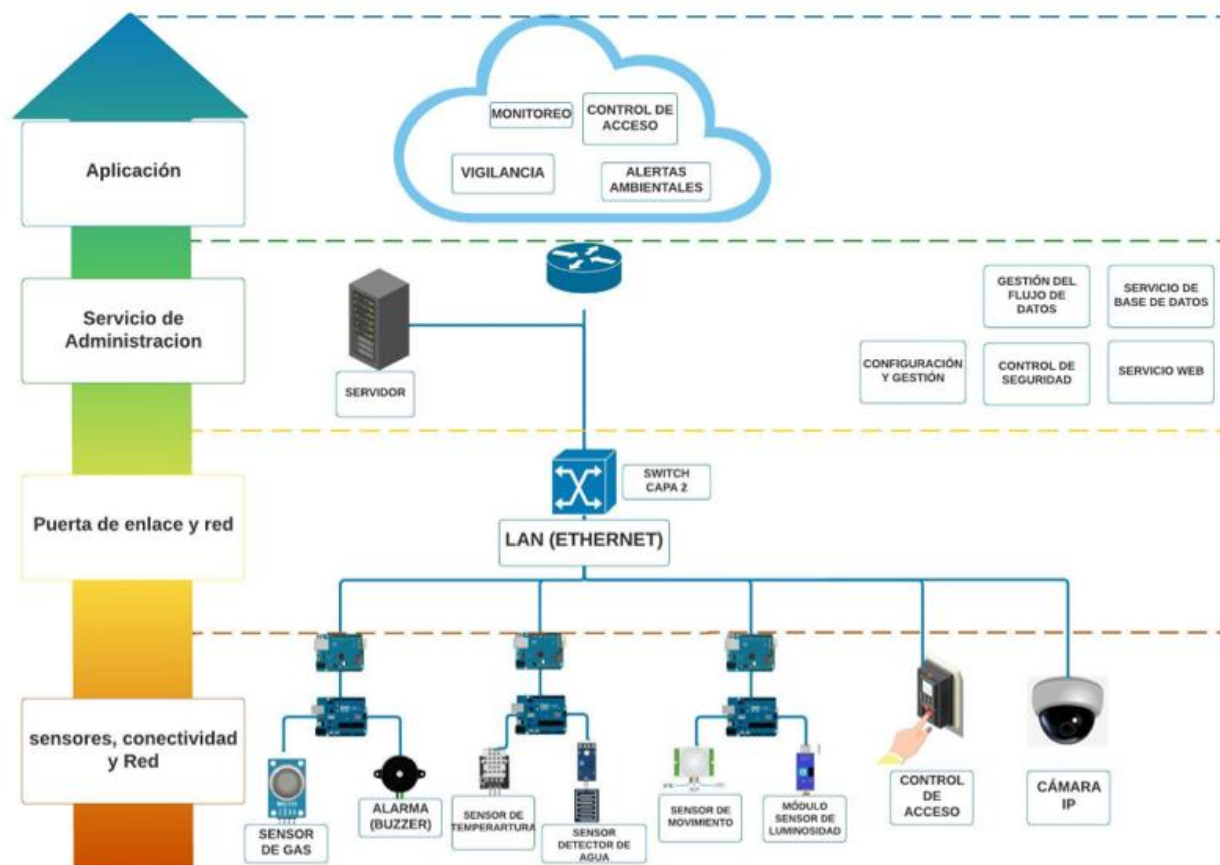


Figura 1. Diseño Lógico. Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Diseño Físico: Vista exterior. Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. Diseño Físico: Vista interior. Fuente: Elaboración propia.

Se realizó una matriz de riesgos que le permite a la empresa identificar los factores que impactan de forma negativa al sistema de seguridad inteligente. En la opinión de [6], considerar los riesgos ayuda a buscar una solución o una alternativa para disminuir o eliminar el impacto que pueden ocasionar dichos inconvenientes.

Fase IV. Implementación

En esta fase, se llevó a cabo la instalación y documentación del proceso de implementación de la conexión de los circuitos, la instalación y la configuración de los mismos, así como la instalación del sistema operativo Debian 11 en el servidor, donde fueron configurados los servicios necesarios para poner en funcionamiento el sistema de seguridad inteligente.

Servidor. Se instaló el sistema operativo Debian 11 en un entorno CLI (Command Line Interface), posteriormente se verificó su conexión a la red para la instalación y configuración de los servicios, tales como:

- **Servicio FTP (File Transfer Protocol).** Para la transferencia de archivos desde otros dispositivos al servidor.
- **Servicio WEB.** Que permite al usuario la visualización y acceso a la página de administración web.
- **Servicio DNS (Domain Name System).** Para traducir la dirección IP del servidor a un nombre de dominio fácil de recordar.
- **Servicio de base de datos.** Que facilita al usuario la creación, manipulación y almacenamiento de los datos registrados por los sensores, con ayuda del gestor MySQL.

Sensores. La construcción de los primeros tres módulos de sensado se llevó a cabo de forma individual y se realizaron pruebas de cada sensor, para posteriormente cada módulo en conjunto utilizando la placa de desarrollo de hardware libre ARDUINO. En la figura 4 se muestra el módulo uno, ubicado sobre la pared para detectar la presencia del personal dentro del centro de datos, así como el estado en que se encuentren las luces, cuenta con un sensor de movimiento PIR HC-SR501 y un sensor de luminosidad BH1750. El segundo módulo se ubicó entre los racks como se observa en la figura 5, este se conforma por dos sensores, el primero (sensor DHT22), se encarga de medir la temperatura y humedad del ambiente dentro del centro de datos. El segundo (sensor de agua FC-37), detecta la presencia de líquidos con ayuda de la placa de detección YL-83, además incluye una alarma Buzzer, para emitir un sonido continuo en condiciones de temperatura extrema o al detectar agua cerca de los dispositivos. Por último, en la figura 6 se muestra el tercer módulo que se ubicó en el techo y cuenta con un sensor MQ-135, que detecta distintos tipos de gases, por ejemplo, el humo producido tras el inicio de un incendio dentro de la instalación. Al igual que el segundo módulo, cuenta con una alarma Buzzer que emitirá una serie de sonidos hasta la disipación del gas detectado.

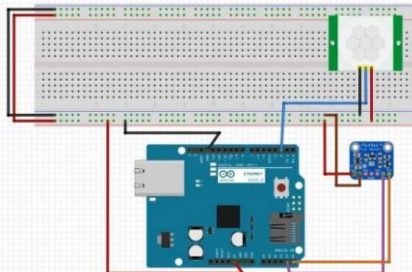


Figura 4. Módulo uno. Fuente: Elaboración propia.

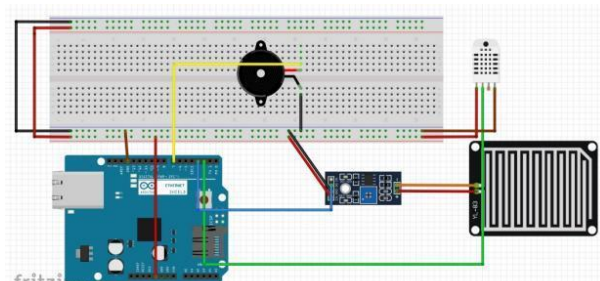


Figura 5. Módulo dos. Fuente: Elaboración propia.

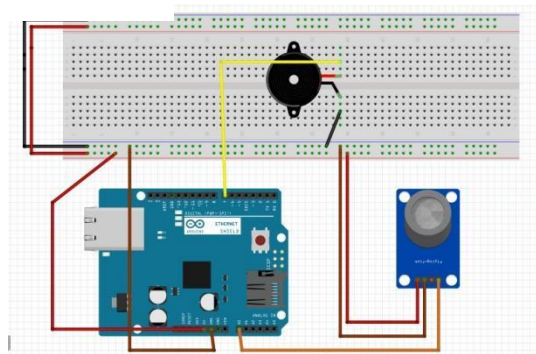


Figura 6. Módulo tres. Fuente: Elaboración propia.

Seguridad física. Se implementaron mecanismos de seguridad física para salvaguardar la integridad del centro de datos. En la opinión de [7], gracias a las nuevas tecnologías los sistemas de control de acceso han pasado de la vigilancia física a la electrónica sofisticada. Es por esto que se han creado diferentes métodos de autenticación y autorización para que una persona pueda acceder a un área determinada.

Para la gestión del acceso al centro de datos se implementó la terminal biométrica ZKTeco F22 que permite administrar la información de los usuarios registrados incluyendo ID de usuario, nombre, privilegios, huella digital, tarjeta y contraseña. Incluye autenticación multifactor (sensor BioID, contraseña por teclado numérico y tarjeta de proximidad ID). Por otro lado, se implementó una cámara IP Domo Hikvision en punto estratégico a fin de obtener una vista completa de la instalación en todo momento, esta transmisión se almacena en el servidor, para su uso posterior. Hay que mencionar que es útil como evidencia digital en caso de una violación de seguridad al centro de datos.

Una API (Application Programming Interface) o interfaz de programación de aplicaciones es un conjunto de definiciones y protocolos que se usa para diseñar e integrar el software de las aplicaciones [8]. Se desarrolló la API para funcionar como traductor entre los circuitos de ARDUINO y el servidor, para establecer una correcta comunicación entre ambos. Esta fue programada utilizando lenguaje PHP y formato JSON para el envío de los datos. Posteriormente, se realizó la conexión a la red mediante la unión de cada placa ARDUINO a una placa ETHERNET SHIELD, una placa especial para la conexión de un circuito de ARDUINO a una red, para poder enviar cada sensado hacia el servidor y almacenarlo en la base de datos creada en el servidor.

Fase V. Operación

Esta fase mantiene el estado de la red día a día, esto incluye administración y monitoreo de los componentes de la red, mantenimiento de ruteo, administración de actualizaciones, administración de performance, e identificación y corrección de errores de red [9]. Para validar las configuraciones y el funcionamiento de los módulos y servicios, se realizaron pruebas de monitoreo desde la página de administración. La primera prueba fue iniciar sesión en la página, para ello, se ingresó el usuario y la contraseña, una vez que hubo conexión se pudo demostrar que la base de datos tenía una conexión exitosa con la página. En el panel de administración se visualizaron los cinco módulos con los datos actualizados, es decir, en tiempo real por los sensores. Los datos que se generaron por parte del control de acceso se actualizaron en la página de administración con fecha y hora de registro por los usuarios.

Fase VI. Optimización

Después de realizar las pruebas en la fase anterior, se realizaron actividades de optimización para evaluar el sistema de manera general e identificar mejoras que se pueden aplicar con el fin de hacer el sistema de monitorización más interactivo. El objetivo principal es mejorar el desempeño del sistema sin interrumpir la operación y adaptándose a las necesidades del usuario. En la opinión de [10], si ocurren varios problemas se pueden realizar cambios de diseño durante esta fase para mejorar los inconvenientes de rendimiento o resolver los problemas de la aplicación.

Resultados y discusión

Después del trabajo anterior, el sistema de seguridad cumplió con varias de las funciones establecidas. Los tres primeros módulos fueron construidos y programados de modo que, al conectarse a la red, los datos son enviados correctamente a través del API y almacenados en la base de datos del servidor como se muestra en la figura 7. El servidor cuenta con la página de administración y su correspondiente nombre de dominio asignado, es decir, el servicio WEB y DNS funcionan correctamente, además, es posible autenticarse a través de un formulario de inicio de sesión que cuenta con encriptación MD5 para las contraseñas de los usuarios, como se muestra en la figura 8.

```
Database changed
mysql> SELECT * FROM temperatura ORDER BY temp_id ASC LIMIT 10;
```

temp_id	temperatura	fecha
693	29.2	2022-07-02 16:23:09
694	29.2	2022-07-02 16:23:19
695	29.2	2022-07-02 16:23:29
696	29.2	2022-07-02 16:23:38
697	29.2	2022-07-02 16:23:48
698	29.2	2022-07-02 16:23:58
699	29.2	2022-07-02 16:24:08
700	29.2	2022-07-02 16:24:18
701	29.2	2022-07-02 16:24:28
702	29.2	2022-07-02 16:24:38

Figura 4. Visualización de los datos en MySQL. Fuente: Elaboración propia.

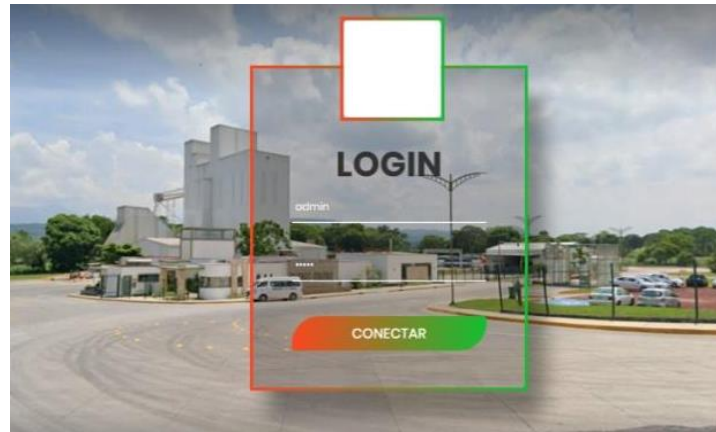


Figura 5. . Login. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 9 se visualiza el dashboard de la página de administración en la que se observan los gráficos de temperatura, humedad, luminosidad y gas. Estos gráficos consultan los datos en un determinado período de tiempo, permitiendo al administrador visualizar los datos en tiempo real. Todo lo expuesto confirma que los gráficos funcionaron correctamente. Cabe mencionar que, cada gráfico incluye la recomendación o el nivel adecuado para cada métrica, como sucede en el caso de la temperatura, que por recomendación el centro de datos debe mantener la misma en 20 grados Celsius.



Figura 9. Panel de administración. Fuente: Elaboración propia.

La página de administración cuenta con un panel lateral izquierdo donde es posible seleccionar un módulo en específico para posteriormente, visualizar el gráfico de forma individual, así como monitorear el ingreso del personal autorizado mediante registros como se muestra en las figuras 10 y 11.



Figura 10. Vista individual del grafico (luminosidad).
 Fuente: Elaboración propia.

ID	PERSONAL	Fecha	AREA
51	Brais_Gallardo	2022-09-05 11:39:02.000000	SITIO
52	Carlos_Ponce	2022-09-05 11:29:16.000000	SITIO
53	Mauricio_Riviera	2022-09-05 11:29:29.000000	SITIO
54	Arturo_Alfaro	2022-09-05 11:52:46.000000	SITIO
55	Carlos_Ponce	2022-09-05 12:32:33.000000	SITIO
56	Carlos_Ponce	2022-09-05 12:25:04.000000	SITIO
57	Arturo_Alfaro	2022-09-05 14:34:03.000000	SITIO
58	Mauricio_Riviera	2022-09-05 14:34:16.000000	SITIO
59	Brais_Gallardo	2022-09-05 14:31:24.000000	SITIO

Figura 11. Vista de registros del módulo 4 (control de acceso). Fuente: Elaboración propia.

Se comprobó que la alarma buzzer emite el sonido de alerta tras registrar algún valor que esté fuera del rango recomendado, un ejemplo de eso se observa en la figura 12 donde se muestra el gráfico del nivel de gas registrando un incremento de este tras haber realizado una prueba. Al superar el valor predefinido, el módulo

alerta al administrador, este mecanismo de seguridad ayuda a mitigar algún desastre crucial para el centro de datos.

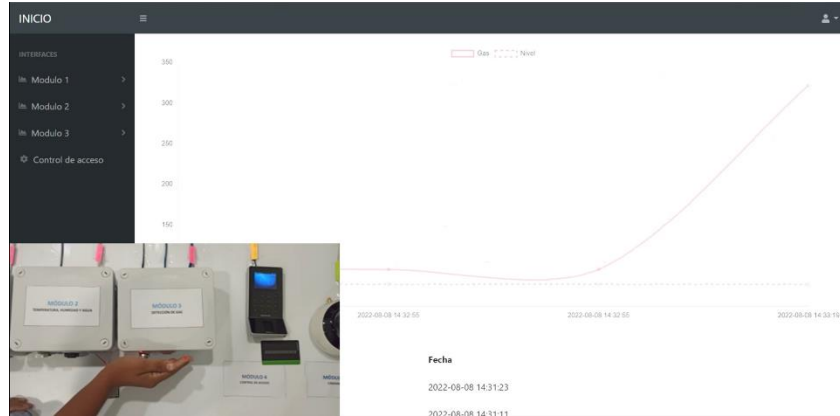


Figura 12. Incremento del valor de gas detectado (módulo 3). Fuente: Elaboración propia.

El módulo de control de acceso, como se muestra en la Figura 13, verificó la identidad del personal autorizado mediante huellas dactilares, tarjetas de identificación ID y código PIN. Se debe agregar que este mecanismo de seguridad cumplió con su función al impedir el acceso del personal sin autorización previa, ya sea por cualquiera de los tres factores, estos eventos son almacenados a modo de registros en el servidor. Se comprobó que la página de administración consulta estos registros para su posterior visualización, como se muestra en la figura 14.

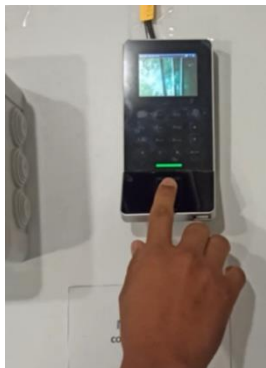


Figura 13. Control de acceso. Fuente: Elaboración propia.

The figure shows a dashboard with a table of access events. The table has columns for ID, PERSONAL, Fecha, and AREA. The data is as follows:

ID	PERSONAL	Fecha	AREA
61	Carlos_Pomier	2022-08-08 14:35:10.000000	SITE-TI
60	Carlos_Pomier	2022-08-08 14:34:55.000000	SITE-TI
59	Rosalba_Gallardo	2022-08-08 14:34:24.000000	SITE-TI
58	Mauricio_Rivera	2022-08-08 14:34:16.000000	SITE-TI
57	Arturo_Altamirano	2022-08-08 14:34:05.000000	SITE-TI
56	Carlos_Pomier	2022-08-08 13:05:56.000000	SITE-TI
55	Carlos_Pomier	2022-08-08 12:32:33.000000	SITE-TI
54	Arturo_Altamirano	2022-08-08 11:32:46.000000	SITE-TI
53	Mauricio_Rivera	2022-08-08 11:30:29.000000	SITE-TI
52	Carlos_Pomier	2022-08-08 11:30:16.000000	SITE-TI

Figura 14. Visualización de los eventos registrados (Control de acceso). Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el módulo de videovigilancia almacenó en tiempo real, las imágenes y los videos de la actividad producida dentro del centro de datos, salvaguardando la integridad del mismo, como se muestra en la figura 15. La presencia de esta reforzó la seguridad drásticamente al cumplir con su propósito de dar una cobertura más extensa de las áreas dentro de la instalación reduciendo los peligros más habituales, tales como los robos, destrozos u otras acciones no autorizadas.

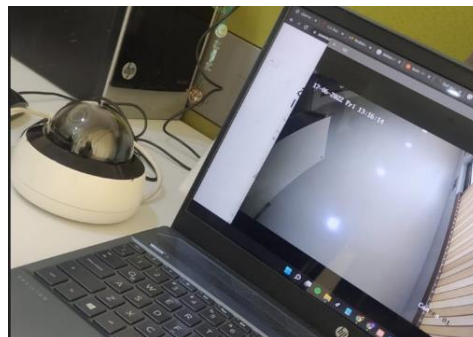


Figura 15. Cámara IP. Fuente: Elaboración propia.

Trabajos a futuro

Una vez finalizada la implementación del sistema de seguridad, los resultados fueron exitosos. Posteriormente, se realizó una investigación de requerimientos por mejorar, lo que conlleva a algunas opciones con la posibilidad de colocar baterías de respaldo a los módulos para que se pueda garantizar y utilizar todo el potencial del sistema, igualmente agregar placas de circuito impreso reduciendo el espacio, asimismo conteniendo una gestión térmica [11].

Conclusiones

Fueron identificados algunos puntos de mejora que ayudan a aumentar la disponibilidad y eficiencia del sistema. Se logró que el funcionamiento de los servicios DNS, FTP, WEB, SSH y de Base de Datos, instalados y configurados en la distribución de Debian 11, trabajarán de forma unificada, cumpliendo con el objetivo por el cual fueron propuestos.

Se optimizó la interfaz gráfica de la página de administración que fue desarrollada, con el objetivo de ser agradable para el usuario final, permitiéndole administrar grandes volúmenes de datos, para generar reportes de los registros almacenados, aplicando filtros de periodos de tiempo como fecha/hora y/o búsquedas por ID.

En conclusión, la implementación del sistema seguridad inteligente dedicado a centros de datos Tier I, permite aumentar la seguridad física dentro del centro de datos, ante amenazas como el acceso del personal no autorizado. Asimismo, con monitorización del ambiente a través de los sensores IoT, evitar inconvenientes que suelen ser reportados días después de haber sucedido, tales como una falla en el aire acondicionado hasta un incendio que es crucial para cualquier organización.

Agradecimientos

Nos gustaría comenzar por agradecer a José Mauricio Rivera Espinoza, por demostrarnos que el trabajo en equipo es esencial para el desarrollo de este proyecto, además, él demostró ser una persona única e inigualable que en todo momento fomentó el compañerismo, su contribución y conocimiento fueron clave para el desarrollo y culminación del proyecto.

Referencias

- [1] SAP, «¿Qué es la transformación digital?,» 20 diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.sap.com/latinamerica/insights/what-is-digital-transformation.html>. [Último acceso: 5 agosto 2022].
- [2] R. Lubschik, «Evolución en el monitoreo de centros de datos.,» *Gerencia*, p. 38, 2012.
- [3] A. Maggio, «Introducing Cisco PPDIOO for Network Design,» 11 octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.ictshore.com/network-design/cisco-ppdioo/>. [Último acceso: 5 agosto 2022].
- [4] Ninoka, «Análisis diseño e implementación de voz sobre IP en la empresa linde ecuador S.A.,» 4 julio 2018. [En línea]. Available: <https://es.essays.club/Otras/Temas-variados/AN%C3%81LISIS-DISE%C3%91O-E-IMPLEMENTACI%C3%93N-DE-VOZ-SOBRE-IP-129745.html>. [Último acceso: 7 agosto 2022].
- [5] R. H. Huauya Leuyacc, «Sistema de teletrabajo para el servicio de atención al cliente en la empresa Servicios de Call Center de Perú S. A.,» 22 agosto 2020. [En línea]. Available: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/46841/Huauya_LRH-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 7 agosto 2022].
- [6] RSM, «¿En qué consiste una matriz de riesgos?,» 9 enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.rsm.global/peru/es/aportes/blog-rsm-peru/en-que-consiste-una-matriz-de-riesgos>. [Último acceso: 10 agosto 2022].

- [7] A. K. Mendieta, «La importancia de contar con un sistema de control de acceso,» SH Ingeniería, 20 octubre 2021. [En línea]. Available: <https://shingenieria.com/la-importancia-de-contar-con-un-sistema-de-control-de-acceso/>. [Último acceso: 10 agosto 2022].
- [8] RedHad, «¿Qué es una API?,» 31 octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.redhat.com/es/topics/api/what-are-application-programming-interfaces>. [Último acceso: 10 agosto 2022].
- [9] Ecotec, «Diseño de redes de computadoras,» 4 junio 2019. [En línea]. Available: https://www.ecotec.edu.ec/material/material_2019D1_COM355_01_116233.pdf. [Último acceso: 10 agosto 2022].
- [10] J. C. Ramírez Rivera , «Propuesta de una red de cableado estructurado (LAN) como alternativa de solución a la falta de comunicación de datos entre las oficinas de la Municipalidad Distrital de Huallanca,» 23 noviembre 2018. [En línea]. Available: http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/8222/Tesis_59779.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 11 agosto 2022].
- [11] N. GROUP, «La gestión térmica en los equipos electrónicos,» 24 mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.ncabgroup.com/es/blog/news/la-gestion-termica-en-los-equipos-electronicos-esta-teniendo-cada-vez-mas-importancia/>. [Último acceso: 11 agosto 2022].

Implementación de Plataforma Web Declaranet para el Poder Judicial del Estado de San Luis Potosí

J.J. Juárez García^{1*}, C.I. Canela Guzmán², A.E. Lucero Medina³, E.O. Martínez Rodríguez⁴, J.L. Contreras Hernández⁵

*Departamento de Ciencias Económico Administrativas^{1,2,3} Departamento de Ciencias Básicas⁴ del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de San Luis Potosí Poder Judicial del Estado de San Luis Potosí⁵, *jose.jg@slp.tecnm.mx*

Área de participación: Ingeniería en Sistemas Computacionales, en Desarrollo Web

Resumen

En el presente artículo se da a conocer el sistema de plataforma Web Declaranet, desarrollado por el área de Tecnologías de la Información del Poder Judicial del Estado de San Luis Potosí, atendiendo la solicitud del área de Contraloría y el Acuerdo publicado en el DOF el 23 de septiembre de 2019, en donde se establece la obligatoriedad de recabar la información de los sujetos de dicha institución gubernamental al realizar las declaraciones patrimoniales y de interés, además de incluir la declaración fiscal. Dichos procesos permitirán al organismo brindar la información a los organismos externos como el Sistema Nacional y Estatal de Anticorrupción y la Comisión Estatal de Garantía de Acceso a la Información (CEGAIP).

Palabras clave: Sitio Web, Base de Datos, Usuarios.

Abstract

This paper present, the Declaranet Web Platform, developed by the Information Technology area of the Poder Judicial del Estado de San Luis Potosí, in response to the request of the Controlling Area and the agreement published in the DOF on 23 September 2019, which establishes the obligation to collect information from the subjects of this government institution when making declarations of assets and interest, in addition to including the tax declaration. These processes will allow the agency to provide information to external agencies such as Sistema Nacional y Estatal de Anticorrupción and Comisión Estatal de Garantía de Acceso a la Información (CEGAIP).

Key words: Web Site, Database, Users

Introducción

Las declaraciones patrimoniales representan un instrumento de gran importancia por el cual se previene la comisión del delito de enriquecimiento ilícito por parte de los servidores públicos y es un medio de control para el Gobierno.

Por lo anterior, y en concordancia con el Acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 23 de septiembre de 2019, en el que se modifican los anexos, Primero y Segundo del Acuerdo por el que el Comité Coordinador del Sistema Nacional Anticorrupción emite el formato de declaraciones: de situación patrimonial y de intereses; y expide las normas e instructivo para su llenado y presentación emitido. [1]; el área de contraloría y área de tecnologías de la información del poder judicial del Estado de San Luis Potosí, llevan a cabo las tareas de análisis, diseño, implementación, pruebas y producción del sistema Declaranet de este organismo donde además de contemplar las declaraciones patrimonial y de intereses se integra la declaración fiscal para los sujetos

obligados y de esta manera tener concentrado la información en un solo sistema que permita cumplir con las obligaciones de declaración tres de tres.

En la actualidad, existe el sistema DeclaraNet, que es la herramienta electrónica que administra la Secretaría de la Función Pública, a través de la cual las personas servidoras públicas federales presentan sus declaraciones de situación patrimonial y de intereses, ello en cumplimiento de lo establecido en los artículos 108, último párrafo de la Constitución, 32, 33, 46 y 49, fracción IV de la Ley General de Responsabilidades Administrativas. [2]

El sistema propuesto, permite realizar la declaración tres de tres, es decir, presentar las declaraciones: patrimonial, fiscal y de interés de acuerdo a los requerimientos del Sistema Nacional Anticorrupción; la plataforma electrónica de la función pública carece de los requerimientos actuales emitidos en el DOF.

De esta manera, se realizó un sistema de plataforma web que integra los formatos emitidos, a través de una interfaz, que esté disponible los 365 días del año cuya interfaz pueda ser accedida desde cualquier dispositivo y en cualquier parte del mundo. El objetivo básico del sistema web es proporcionar una comunicación clara entre las bases de datos y los usuarios. [3]

Metodología

En relación con la metodología, se presenta la Arquitectura de Software, que fue diseñada con base en objetivos (requisitos) con la finalidad de implementar las siguientes fases: planificación de proyecto, análisis de riesgos, organización, proceso de desarrollo, ciclos de trabajo, el hardware y garantía de calidad.

De esta forma se asegura crear procesos de calidad en los programas que se realizan, y así atender diversos parámetros que son deseables para todo desarrollo como la estructuración de los programas o reutilización del código, lo que debe influir positivamente en la facilidad de desarrollo, escalabilidad y el mantenimiento. Por otra parte, a través de la programación por capas permite tener mayor control tanto en el desarrollo e implementación de sistemas aplicando el patrón de diseño de Modelos, Vistas y Controladores (MVC). [4]

En relación con los Modelos nos referimos a la capa donde se interactúa con la información almacenada, se lleva a cabo la lógica de negocio en coordinación con la capa del controlador y que se representará en la capa de las vistas. Ver figura 1

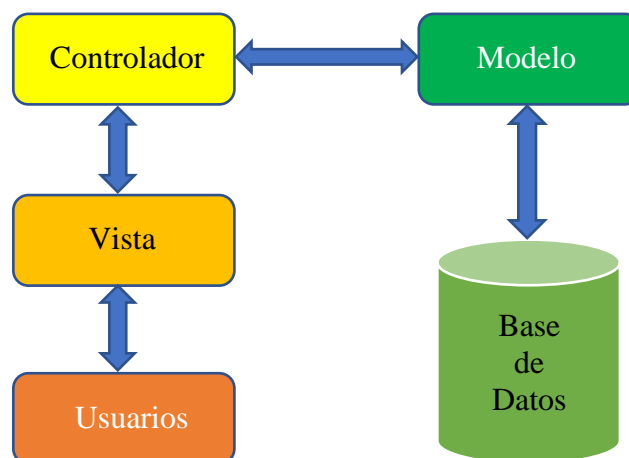


Figura 1. Arquitectura del patrón MVC (Modelo – Vista - Controlador).

Materiales

- Para el desarrollo:
 - Se empleó el lenguaje de programación C#; a través de una aplicación Web ASP.Net Framework, por medio del entorno de desarrollo IDE Visual Studio 2019, dividiéndose en tres partes:
 - Backend:
 - Modelo MVC (Vista-Modelo-Controlador);
 - Entity Framework
 - Rotativa
 - Popper
 - Newtonsoft Json
 - FrontEnd:
 - HTML
 - CSS
 - Bootstrap
 - JavaScript
 - JQuery
 - Mordenizr
 - Razor
 - Database
 - SQL Server
- Producción
 - Se utilizó:
 - Sistema operativo Windows Server 2012
 - IIS (Internet Information Server)
 - SQL Server 2012 Express
 - Certificado SSL
 - Dominio Web
 - Enlace dedicado
 - Fortinet seguridad perimetral

Preparación

A través de la técnica de entrevista en la que se planean las preguntas, que pueden ajustarse a los entrevistados [5], se llevaron a cabo reuniones con el área de contraloría del Poder Judicial de Estado, en donde se analizaron los formatos emitidos por el sistema nacional anticorrupción (ver figuras 2, 3 y 4), para cada tipo de declaración en donde se identificó la información que deberán de capturar los sujetos obligados de acuerdo con el nivel de categoría de la plaza de cada trabajador, señalado en el mismo acuerdo en el apartado Capítulo Segundo de la

Presentación de la Declaración Patrimonial y de Interés conforme a su nivel, en la cláusula decimosegunda, donde señala, a los Servidores Públicos que tengan nivel menor a Jefe de Departamento, sólo deberán de reportar ciertos rubros, por tanto a partir de Jefe de Departamento deberán de realizar la declaración completa. De esta manera se definieron los procesos para la declaración inicial, de modificación, de conclusión, fiscal y de interés; los cuales se mantendrán durante la vida del software desarrollado.

Figura 2. Declaración Inicial

Figura 3. Declaración de Modificación

Figura 4. Declaración de Conclusión

Desarrollo

El desarrollo del sistema consistió en cinco fases:

- 1) Análisis de formatos
- 2) Generación de la base de datos
- 3) Diseño e implementación de la interfaz en los siguientes módulos:
 - a. Declaración Inicial
 - b. Declaración de Modificación
 - c. Declaración de Conclusión
 - d. Declaración de Interés
 - e. Declaración Fiscal
 - f. Administración y consulta
- 4) Pruebas
- 5) Implementación

Fase 1. Análisis de formatos

Se determinó la secuencia que debería de seguir el sistema, en donde se estableció que el usuario podría realizar solo una declaración inicial, varias de modificación y una de conclusión, una vez hecha la declaración de conclusión, quedaría sin acceso al sistema, pudiendo consultar los acuses y la declaración completa a través de un archivo en formato PDF generado por el sistema.

Se identificaron tres tipos de usuarios: el de nivel A el cual estaría obligado a realizar la declaración completa, el de nivel B que podrá realizar la declaración simplificada y el administrador del sistema que visualizará los acuses y declaraciones de todos los usuarios obligados.

Fase 2. Generación de la base de datos

Una base de datos puede definirse como un conjunto de datos organizados y relacionados que cuentan con cierta estructura. El Sistema de Gestión de Base de Datos (SGBD) permite a los usuarios definir, crear y mantener bases de datos, proporcionando acceso controlado a las mismas; sirve de interfaz entre el usuario y las bases de datos [6]. Utilizando SQL server, SGBD y con base en lo analizado, se diseñó la base de datos con los formatos solicitados por el sistema nacional anticorrupción del cual se obtuvieron 127 tablas relacionadas, con una serie de campos que representan valores que se desean almacenar para cada formato. (Ver figura 5 y 6).

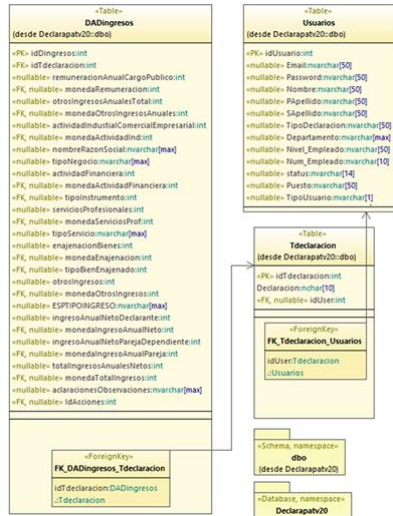


Figura 5. Declaración Anual - Ingresos

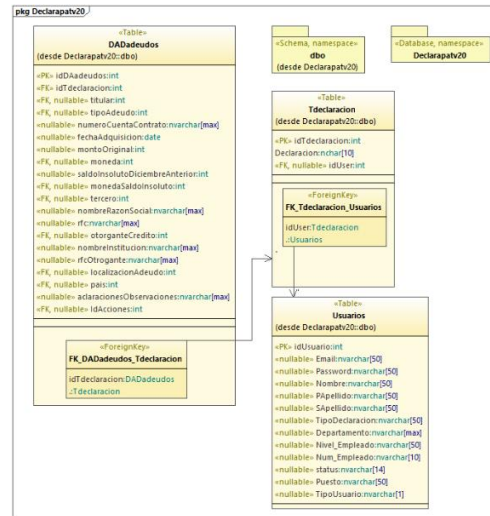


Figura 6. Declaración Anual - Adeudos

Fase 3. Diseño e implementación de la interfaz en los siguientes módulos

Se procedió a trabajar con Visual Studio 2019 con el diseño y desarrollo de las interfaces requeridas dentro del análisis para después pasar a la fase de pruebas, de aquí se obtuvieron los modelos, vistas y controladores. (Ver figura 7, 8 y 9).

```

1 //auto-generado
2 // Este código se generó a partir de una plantilla.
3 //
4 // Los cambios manuales en este archivo pueden causar un comportamiento inesperado
5 //
6 // Los cambios manuales en este archivo se sobrescribirán si se regenera el código.
7 //
8 //-----
9
10 namespace Declarapav2020.Models
11 {
12     using System;
13     using System.Collections.Generic;
14
15     public partial class IDGeneral
16     {
17         public int idGeneral { get; set; }
18         public int idDeclaracion { get; set; }
19         public string NOMBRES { get; set; }
20         public string PApellido { get; set; }
21         public string SApellido { get; set; }
22         public string CURP { get; set; }
23         public string RFC { get; set; }
24         public string HONCLAVE { get; set; }
25         public string EMAIL1 { get; set; }
26         public string EMAILP { get; set; }
27         public string TELCASA { get; set; }
28         public string TELCEL { get; set; }
29         public string EDOCCIVIL { get; set; }
30         public string BIRATRIDOMINAL { get; set; }
31         public string PAIS { get; set; }
32         public string NACIONALIDAD { get; set; }
33         public string ACLARACIONES { get; set; }
34
35         public virtual TDeclaracion TDeclaracion { get; set; }
36
37     }
38 }
    
```

Figura 7. Modelo

```

1 //-----
2 // Este código se generó a partir de una plantilla.
3 //
4 // Los cambios manuales en este archivo pueden causar un comportamiento inesperado
5 //
6 // Los cambios manuales en este archivo se sobrescribirán si se regenera el código.
7 //
8 //-----
9
10 namespace Declarapav2020.Views
11 {
12     using System;
13     using System.Collections.Generic;
14     using System.Linq;
15     using System.Web;
16     using System.Web.Mvc;
17     using Declarapav2020.Models;
18
19     public partial class IDGeneral
20     {
21         public int idGeneral { get; set; }
22         public int idDeclaracion { get; set; }
23         public string NOMBRES { get; set; }
24         public string PApellido { get; set; }
25         public string SApellido { get; set; }
26         public string CURP { get; set; }
27         public string RFC { get; set; }
28         public string HONCLAVE { get; set; }
29         public string EMAIL1 { get; set; }
30         public string EMAILP { get; set; }
31         public string TELCASA { get; set; }
32         public string TELCEL { get; set; }
33         public string EDOCCIVIL { get; set; }
34         public string BIRATRIDOMINAL { get; set; }
35         public string PAIS { get; set; }
36         public string NACIONALIDAD { get; set; }
37         public string ACLARACIONES { get; set; }
38
39         public virtual TDeclaracion TDeclaracion { get; set; }
40
41     }
42 }
    
```

Figura 8. Vista

```

1 using System;
2 using System.Collections.Generic;
3 using System.Data;
4 using System.Data.Entity;
5 using System.Linq;
6 using System.Net;
7 using System.Web;
8 using System.Web.Mvc;
9 using Declarapav2020.Models;
10
11 namespace Declarapav2020.Controllers
12 {
13     public class IDGeneralController : Controller
14     {
15         private Declarapav2020.Models.IDGeneral idGeneral;
16
17         public ActionResult get()
18         {
19             var usuario = User.Identity.Name;
20             var usuario = db.Usuarios.Where(x => x.Email.ToLower() == user.Identity.Name.ToLower()).FirstOrDefault();
21             ViewBag.Email = usuario.Email;
22         }
23     }
24 }
    
```

Figura 9. Controlador

Fase 4. Pruebas

El proceso de pruebas se realizó con el apoyo del área de Contraloría del Poder Judicial del Estado con un equipo de seis integrantes, lo cual permitió ajustar las fallas del sistema.

Fase 5. Implementación

El sistema se implementó en un servidor con sistema operativo Windows Server 2012, Internet Information Server 7, Certificado SSL, Dominio Web y enlace dedicado con seguridad perimetral Fortinet; dando mantenimiento y soporte del sistema el cual se mantendrá toda la vida útil del proyecto.

El sistema puede visualizarse a través del siguiente enlace: <https://dpatrimonial.stjslp.gob.mx/>

Resultados y discusión

El diseño y desarrollo de la base de datos, permitió conocer los diferentes apartados que se debieron de contemplar en el diseño de la aplicación, considerando en la declaración inicial 15 módulos, para la declaración de modificación 14 módulos, para la declaración de conclusión 15 módulos, para la declaración de interés 7 módulos y para la declaración fiscal 1 módulo, tomando en cuenta 50 catálogos de información que permiten a los usuarios la elección de cada uno de ellos. (Ver figura 10 y 11)

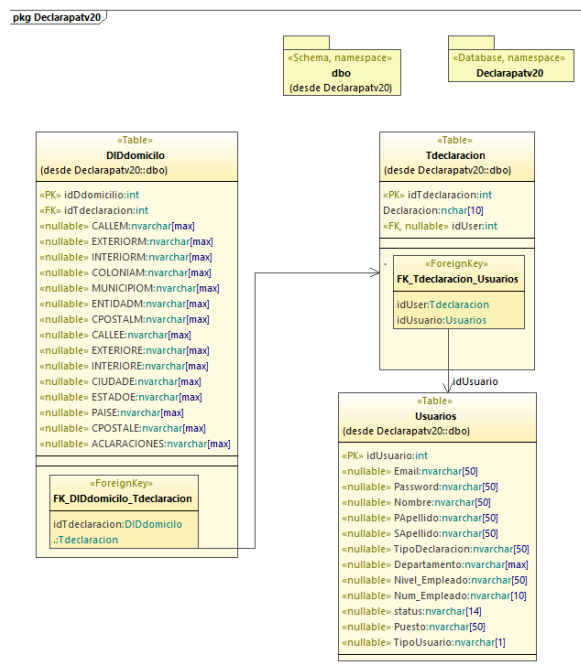


Figura 10. Diagrama parcial de la base de datos 1

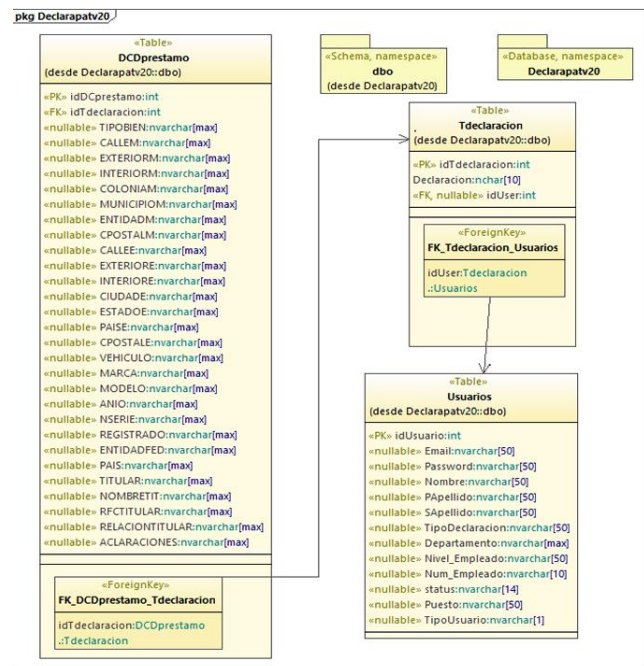


Figura 11. Diagrama parcial de base de datos 2

Se muestra el diseño de la interfaz inicial, en el cual se consideró la imagen institucional donde se integraron las secciones siguientes: fundamento, preguntas frecuentes, aviso de privacidad, instructivo, contacto e inicio de sesión como se presenta en las figuras 12, y 13.



Figura 12. Interfaz del Sistema



Figura 13. Inicio de sesión

En la etapa de implementación se inició con un total de 1674 usuarios, de los cuales 583 están obligados a realizar una declaración completa, y 1091 una declaración simplificada (ver gráfico 1), es decir, para el caso de la declaración simplificada, solo deberán de capturar la información de: Datos Personales, domicilio, currículo, empleo, ingresos de declarante, para el caso de la declaración completa deben de registrar los 15 módulos de la declaración.

Cabe mencionar que, al ser una plataforma interna, el área de contraloría asigna las credenciales de acceso a cada uno de los usuarios obligados.

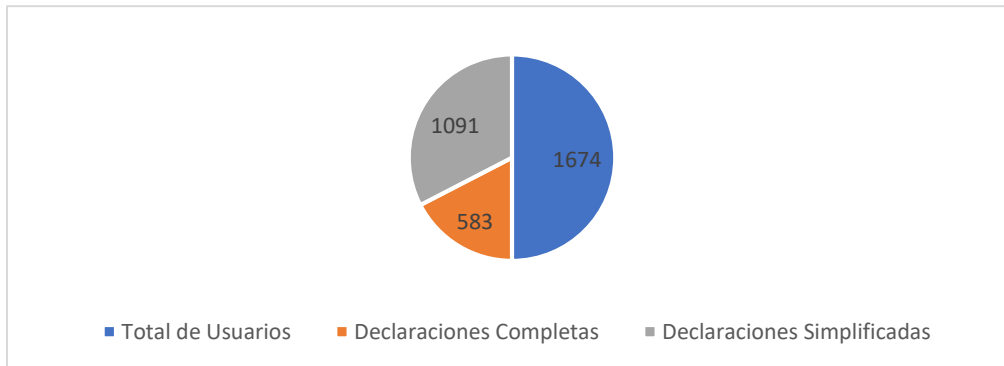


Gráfico 1. Declaraciones por realizar

En esta última etapa se creó el módulo de administración (Ver figuras 16 y 17) con la finalidad de obtener las declaraciones realizadas por los empleados (usuarios) obligados y así, generar productos estadísticos de la declaración inicial, de modificación y de conclusión (integrando la declaración de interés y fiscal) (Ver gráfico 2).



Figura 14. Iniciar de sesión administrador



Figura 15. Panel de Administración

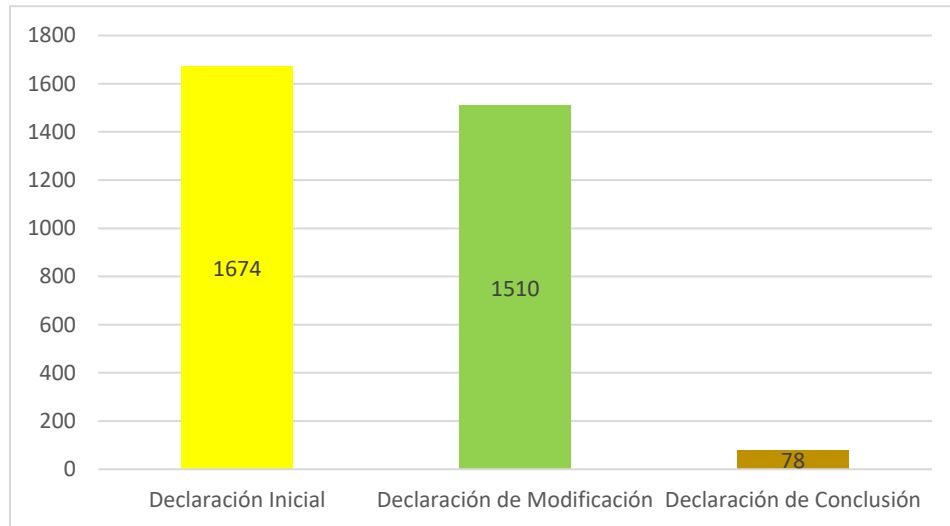


Gráfico 2. Declaraciones realizadas

Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro se pretende:

- Realizar la exportación de la información de las declaraciones en versión pública, que permita la publicación de la información en el portal de la Ley de Transparencia Nacional y Estatal de acceso a la información.
- Realizar la interoperabilidad con el Sistema Estatal Anticorrupción con la información de las versiones públicas del Poder Judicial Del Estado.

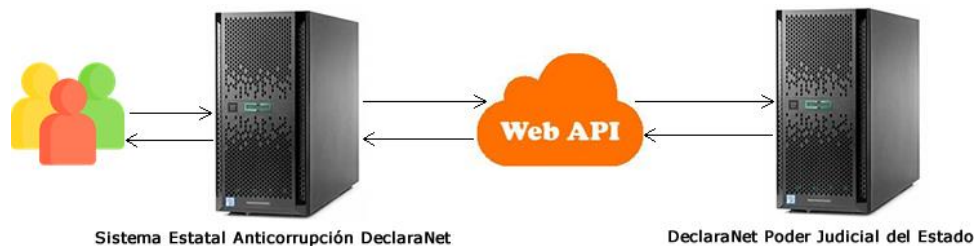


Figura 16. Interoperabilidad

Conclusiones

El sistema diseñado permitió cumplir con el Acuerdo emitido en el DOF por el Comité Coordinador del Sistema Nacional Anticorrupción, agilizando los procesos administrativos internos del Poder Judicial del Estado de San Luis Potosí y atender de manera eficiente a los diferentes organismos externos que soliciten la información de cualquier sujeto obligado.

Agradecimientos

Agradecemos la confianza y el apoyo brindado a la Magistrada Presidenta del Poder Judicial del Estado, Lic. Olga Regina García López, a los Consejeros Lic. Diana Isela Soria Hernández, Lic. Huitzilguitl Ortega Pérez, Lic. Jesús Javier Delgado Sam, a la Secretaria Ejecutiva de Vigilancia y Disciplina, Lic. Rebeca Pozos Aguilar, al Contralor, C.P. José Gabriel González López, al Lic. Ilhuitemoc Quetzalcoatl Ricardo Ortiz, al Ing. Juan Manuel Barrientos Acosta y al Tecnológico Nacional de México campus San Luis Potosí.

Referencias

- [1] DOF, «DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN,» 23 SEPTIEMBRE 2019. [En línea]. Available: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5573194&fecha=23/09/2019#gsc.tab=0. [Último acceso: 25 JULIO 2022].
- [2] S. d. I. F. Pública, «DeclaraNet,» [En línea]. Available: <https://declaranet.gob.mx/>. [Último acceso: 31 agosto 2022].
- [3] Sommerville, I. *Ingeniería de Software*. México: PEARSON EDUCACIÓN, 2011 ISBN: 978-607-32-0603-7
- [4] Anonimo, «Desarrollo Web,» [En línea]. Available: <https://desarrolloweb.com/>. [Último acceso: 30 agosto 2022].
- [5] Hernández, S. L. y Duana, D. "Técnicas e instrumentos de recolección de datos". *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA*, 9(17). 51-53, 2020. <https://doi.org/10.29057/icea.v9i17.6019>
- [6] Ibáñez, L. H. *Administración de Sistemas Gestores de Base de Datos*. Grupo Editorial RA-MA. 2015.

Medición del desempeño de clasificadores usando atributos sintéticos polinomiales y selección de atributos con MrMR

L. A. Banda Peláez¹, K. M. Ramírez Vergara², A. López Chau³, V. Trujillo Mora⁴, C. O. González Moran⁵

¹UAEMex; lbandap001@alumno.uaemex.mx, ²UAEMex; kramirezv003@alumno.uaemex.mx, ³UAEMex; alchau@uaemex.mx, ⁴UAEMex; vtrujillom@uaemex.mx, ⁵UAEMex; cogonzalezm@uaemex.mx.

Área de participación: *Sistemas Computacionales*

Resumen

Las diferentes complejidades presentes en los datos perjudican el desempeño de los modelos predictivos. Entre las complejidades más comunes en los datos se encuentra el desbalance de clases, la presencia de casos atípicos, traslape de clases, y alta dimensionalidad. Una de las formas de tratar con este problema es la creación y adición de atributos sintéticos a los datos, con la finalidad de mejorar el desempeño. En este artículo, se realiza una comparativa del comportamiento (en términos de la métrica F1-score) de seis clasificadores cuando se agregan atributos sintéticos de tipo polinomial. El objetivo de los experimentos es verificar si la creación de atributos sintéticos ayuda a lograr un mejor desempeño en comparación con los atributos originales.

Palabras clave: *Clasificador, Métricas de desempeño, Atributos sintéticos, MrMR.*

Abstract

The different complexities present in the data impair the performance of predictive models. Among the most common complexities in data are class imbalance, the presence of outliers, class overlap, and high dimensionality. One of the ways to deal with this problem is to create and add synthetic attributes to the data, in order to improve performance. In this article, a comparison is made of the behavior (in terms of the F1-score metric) of six classifiers when polynomial-type synthetic attributes are added. The objective of the experiments is to verify if the creation of synthetic attributes helps to achieve better performance compared to the original attributes.

Key words: *Classifier, Performance metrics, Synthetic attributes, MrMR.*

Introducción

Una de las tareas más importantes en minería de datos es la clasificación, la cual pertenece al tipo de aprendizaje supervisado. Existen varios métodos de clasificación, entre ellos se encuentran los árboles de decisión, máquinas de vectores soporte, redes neuronales, K-vecinos más cercanos y clasificador Bayesiano ingenuo. Cuando se aplican estos métodos de clasificación a un mismo conjunto de datos etiquetado, generalmente se obtienen resultados de desempeño diferente, es decir, para cada método de clasificación empleado sobre un mismo conjunto de datos, se presentan resultados diferentes dependiendo de las complejidades del modelo predictivo aplicado.

Entre los principales tipos de complejidades que se pueden encontrar en datos etiquetados se pueden nombrar los siguientes [1]:

- a) *Elevado número de instancias o muestras en el conjunto de datos.* Provoca que no se pueda cargar en memoria principal todo el conjunto de datos.
- b) *Número muy reducido de muestras.* No existen suficientes muestras para generar modelos predictivos con buen desempeño.

- c) *Alta dimensionalidad*. Cuando se tiene un elevado número de atributos, es posible que varios de ellos perjudiquen el desempeño de los modelos predictivos, debido a que son irrelevantes o redundantes.
- d) *Traslape de clases*. El traslape de clases es un problema complejo, provoca que los clasificadores obtengan una tasa de error de predicción alta.
- e) *Desbalance*. Sucede cuando hay un gran número de muestras de una clase, y una proporción significativamente más pequeña de otra clase.
- f) *Casos anómalos*. Son muestras muy diferentes al resto, de acuerdo con algún criterio estadístico, esto puede hacer que los modelos predictivos se sesguen.

Estas complejidades dañan la exactitud de las predicciones de los clasificadores, por lo que se han diseñado estrategias orientadas a mejorar el desempeño de los métodos de clasificación, por ejemplo, la creación y adición de atributos sintéticos a los datos. Las máquinas de vectores de soporte (SVM) son uno de los algoritmos de clasificación y regresión más potentes y robustos en múltiples campos de aplicación; generan indirectamente una elevada cantidad de atributos, a través de funciones no lineales (llamadas funciones Kernel), para obtener un hiperplano de clasificación en un espacio de características de dimensión potencialmente infinita [2]. Otros métodos, como las redes neuronales totalmente conectadas, crean nuevos atributos a través de capas ocultas, mediante las salidas de funciones de activación que toman como argumentos los productos internos entre salidas de capas anteriores y los pesos sinápticos de la capa actual.

Las características sintéticas se generan a partir de los atributos existentes de manera implícita o explícita. Los métodos implícitos de generación de atributos sintéticos son efectivos para reducir los efectos de la complejidad de los datos sobre el desempeño de los clasificadores, aunque en otro sentido, tienen un funcionamiento menos comprensible para los humanos. La generación explícita de atributos sintéticos se realiza mediante operaciones entre atributos, como las sumas, productos, potencias y algoritmos. Este tipo de métodos considera la importancia de los atributos y descarta los atributos irrelevantes, con el objetivo de conocer explícitamente las transformaciones realizadas a los datos, sin embargo, el costo computacional puede llegar a ser elevado [3].

En este artículo se realiza un estudio exploratorio sobre el efecto que tiene la generación y adición de atributos sintéticos de tipo polinomial sobre el desempeño de seis métodos de clasificación muy conocidos. Para validar los resultados, se usan seis conjuntos de datos disponibles públicamente en internet. La metodología propuesta en el artículo consta de tres secciones. La primera de ellas describe las métricas más populares para evaluar el desempeño de clasificadores; la segunda sección menciona la metodología empleada y aplicada en esta investigación. Finalmente, se muestran los resultados tres experimentos aplicados a seis conjuntos de datos, con la finalidad de conocer si el uso de atributos sintéticos favorecen o no a los modelos predictivos.

Antecedentes

Métricas de desempeño de clasificadores

La tarea de clasificación en aprendizaje automático es ampliamente usada en problemas de diversas áreas, para poder aplicar un clasificador en ambientes reales, es necesario medir su desempeño en ambientes realistas. La técnica empleada comúnmente para validar los resultados consiste en usar dos tipos de muestras. El primer conjunto de datos etiquetados (*datos de entrenamiento*), es para generar un modelo predictivo (el clasificador propiamente), el segundo conjunto (*datos de prueba*), sirve para evaluar las predicciones realizadas por el clasificador; usualmente se utiliza un 80% de los datos para entrenamiento, y el 20% de los datos para pruebas.

Para medir la calidad de las predicciones de un clasificador, existe una variedad de métricas, la mayoría de ellas se obtienen de las estadísticas condensadas en una matriz confusión, cuya estructura general se muestra en la Figura 1 [4].

	Predicción positiva	Predicción negativa
Clase positiva	Verdaderos positivos (VP)	Falsos negativos (FN)
Clase negativa	Falsos positivos (FP)	Verdaderos negativos (VN)

Figura 1. Matriz de confusión para clasificación binaria.

Las matrices de confusión se pueden extender al número de clases que contenga el conjunto de datos. Con base en ella, se definen métricas de desempeño de un modelo predictivo como la exactitud, la precisión, la exhaustividad y F1-score.

La exactitud se calcula dividiendo la cantidad de predicciones correctas por el total de los datos [5]. Así mismo, la tasa de error mide los errores que el clasificador comete [4]. La forma de calcular estas métricas se muestra en la ecuación (1):

$$\text{Exactitud} = \frac{VP+VN}{VP+FN+FP+VN} \quad \text{Tasa de error} = \frac{FP+FN}{VP+FN+FP+VN} \quad (1)$$

La precisión (ecuación 2) es una métrica caracterizada por utilizar las predicciones positivas realizadas, está dada por un cociente que toma en cuenta el número de predicciones positivas y el total de todas las predicciones positivas [4].

$$\text{Precisión} = \frac{\text{Verdaderos positivos}}{\text{Verdaderos positivos}+\text{Falsos positivos}} \quad (2)$$

La métrica de exhaustividad tiene como objetivo principal, minimizar los falsos negativos, es decir, obtener un porcentaje de las predicciones positivas realizadas en relación con el total de predicciones positivas que posiblemente se realizaron [4], la ecuación (3) muestra la forma de calcular la exhaustividad.

$$\text{Exhaustividad} = \frac{\text{Verdaderos Positivos}}{\text{Verdaderos Positivos}+\text{Falsos Negativos}} \quad (3)$$

Para el cálculo de F-measure (o F1-score) se usa una media armónica, donde el numerador es el producto de la precisión y la exhaustividad multiplicada por dos, mientras que el denominador consta de la suma entre la precisión y la exhaustividad (ver ecuación (4)). Al usar los porcentajes de la precisión y la exhaustividad permite simplificar en un solo valor el rendimiento del clasificador [6].

$$F - \text{measure} = \frac{2 \times \text{Precisión} \times \text{Exhaustividad}}{\text{Precisión} + \text{Exhaustividad}} \quad (4)$$

Generación de atributos sintéticos polinomiales

Los atributos sintéticos son la creación de nuevas características artificiales, basándose en los datos reales. El propósito principal de agregar este tipo de atributos a los datos es mejorar la calidad del modelo de clasificación [7]. Existen diversas maneras de generar atributos sintéticos a partir de los atributos presentes en un conjunto de datos. En este trabajo, inspirados en el kernel polinomial de las SVM (ver ecuación (5)), se eligió la utilización de formas polinómicas.

$$K(x, y) = (x^T y + c)^d \quad (5)$$

Los atributos sintéticos que se generan tienen la forma mostrada en la ecuación (6):

$$a^j = \prod_{i \in C} x_i \quad (6)$$

Donde

a^j : es el atributo sintético j

x^i : es el atributo i -ésimo del conjunto de datos

C : es una de las $\frac{(n-1+k)!}{(n-1)!k!}$ posibles combinaciones (sin reemplazo), siendo n los mejores atributos y k el grado del polinomio.

Por ejemplo, si un conjunto de datos tiene tres atributos (x_1, x_2, x_3) , y $k = 2$, entonces los atributos sintéticos generados serían $x_1x_1, x_2x_2, x_3x_3, x_1x_2, x_1x_3, x_2x_3$. Es importante aclarar, que solo se consideran atributos de tipo numérico entero o real. Debido a que la cantidad de atributos generados mediante la ecuación (6) puede llegar a ser muy grande, se aplica una técnica de selección de atributos.

Selección de atributos con MrMR

La selección de atributos con MrMR (Mínima redundancia – Máxima Relevancia) es un método reciente, que ha demostrado su efectividad. Este método permite seleccionar las características de un conjunto de datos que tienen mayor poder para discriminar entre clases, y simultáneamente, reduce la redundancia de los atributos [8]. En cada iteración MrMR evalúa el atributo f mediante el cociente mostrado en la ecuación (7).

$$score_i(f) = \frac{relevance(f | target)}{redundancy(f | features\ selected\ until\ i-1)} \quad (6)$$

La relevancia del atributo f se calcula mediante la dependencia estadística que cada atributo tiene con la clase [9]. La redundancia es con respecto a las características ya elegidas hasta el paso i -ésimo de MrMR.

Metodología

Conjunto de datos

La Tabla 1 muestra un resumen de los conjuntos de datos usados en los experimentos. Todos estos datos se encuentran disponibles públicamente en internet [10].

Tabla 1. Resumen de los conjuntos de datos usados en los experimentos.

Conjunto de datos	Total de muestras	Total de atributos	Clases
cmc	1473	9	3
dermatology	366	34	6
ecoli	336	8	8
glass	214	9	7
haberman	306	3	2
raisin shuttle	14500	9	7

La Figura 1 muestra un resumen gráfico de la metodología empleada en este artículo. La estructura principal consiste en cuatro bloques, explicados a continuación.

El primer paso denominado ‘preparación’, corresponde a la lectura de los datos. En esta etapa se separan los atributos de las clases, además se implementa un filtro que tiene como objetivo seleccionar los atributos de tipo numérico (enteros o reales), y eliminar a los que no son numéricos, como nominales, categóricos u ordinales.

Experimento I: Desempeño de clasificadores con todos los atributos

En este paso, se separa pseudo-aleatoriamente el conjunto de datos, analizado en dos subconjuntos disjuntos: el primer subconjunto corresponde al de entrenamiento (80% de los datos) y el segundo subconjunto al de prueba (20% restante). El conjunto de datos de entrenamiento (X_{train} , Y_{train}) es usado para generar un modelo predictivo o clasificador, mientras que el de prueba (X_{test} , Y_{test}) es empleado para calcular la precisión, exhaustividad y F1-score del modelo. La finalidad de calcular el desempeño de cada clasificador usando todos los atributos numéricos es para compararlo con el conjunto de datos con los atributos sintéticos añadidos. Es importante mencionar que los desempeños se reportan considerando 30 repeticiones de cada experimento, usando los mismos datos en todos ellos, pero seleccionando muestras diferentes en cada repetición.

Experimento II: Desempeño de clasificadores con atributos seleccionados con MrMR

En el segundo experimento se seleccionan los k mejores atributos del conjunto de datos de entrenamiento con MrMR. Esos mismos atributos son elegidos del conjunto de datos de prueba. Posteriormente, se genera un modelo predictivo y se evalúa su desempeño. El propósito de este experimento es inspeccionar el efecto de MrMR sobre el desempeño del clasificador.

Experimento III: Desempeño de clasificadores con atributos sintéticos añadidos

En este experimento, se generan atributos sintéticos a partir de los mejores atributos seleccionados en el experimento II. Como se mencionó anteriormente, los atributos sintéticos generados son polinomiales, es decir, productos de variables numéricas presentes en el conjunto de datos original. En este experimento la carga computacional es elevada, debido a que la cantidad de atributos generados es muy grande. Para evitar el consumo excesivo de memoria, se decidió aplicar MrMR a los atributos sintéticos. De esta manera, se generan modelos predictivos usando los atributos originales y los sintéticos más relevantes.

Almacenamiento de resultados

En la fase de almacenamiento se reestructuran todos los datos obtenidos por cada prueba. Los resultados reportados son la media y desviación estándar de la precisión, exhaustividad y F1-score de los 30 experimentos.

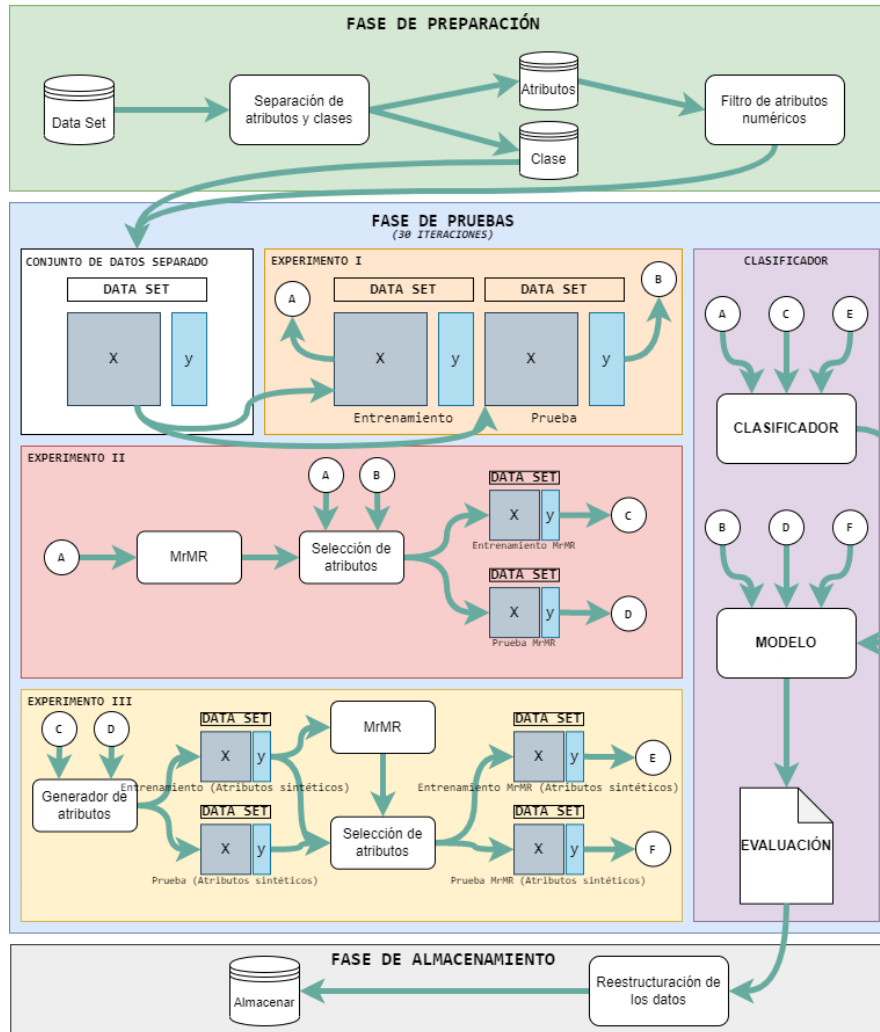


Figura 3. Diagrama representativo del funcionamiento del algoritmo de un modelo de clasificación. Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Se midieron los desempeños de los clasificadores K-NN, regresión logística, árbol de decisión, SVM, perceptrón multicapa (MLPC) y Naive Bayes con cada uno de los conjuntos de datos, para cada experimento. Debido a la gran cantidad de datos generados, se decidió mostrar solamente el valor de F1-score. Para cada experimento, se ajustaron los principales parámetros de cada clasificador aplicando el método de búsqueda exhaustiva por rejilla. Todos los experimentos fueron ejecutados en una computadora.

Resultados Experimento I

La tabla 2 muestra los valores de F1-score, precisión y exhaustividad para cada conjunto de datos.

Tabla 2. Desempeños de clasificadores (F1-score/STD) con todos los atributos

Conjunto de datos	KNN	SVM	Logistic Regression	Decision Tree	Naive Bayes	Neural Network
cmc	0.47/0.02	0.50/0.02	0.51/0.02	0.49/0.01	0.48/0.02	0.50/0.03
dermatology	0.97/0.02	0.98/0.02	0.98/0.02	0.96/0.03	0.88/0.02	0.94/0.02
ecoli	0.70/0.03	0.88/0.02	0.86/0.02	0.79/0.04	0.80/0.04	0.70/0.03
glass	0.60/0.03	0.58/0.07	0.51/0.06	0.64/0.03	0.26/0.10	0.56/0.06
haberman	0.67/0.02	0.66/0.03	0.67/0.02	0.70/0.04	0.72/0.05	0.66/0.04
raisin shuttle	1.00/0.00	0.99/0.00	0.95/0.00	1.00/0.00	0.92/0.01	0.99/0.01

En los conjuntos de datos cmc, glass y ecoli es donde se observa que los clasificadores alcanzan un bajo desempeño. Por otra parte, el conjunto de datos raisin_shuttle es en el cual los clasificadores presentan un mayor valor de F1-score.

Resultados Experimento II

Las tablas 3a presenta los desempeños de los métodos de clasificación analizados. Se observa que, para 15 casos, se mejoró el desempeño ligeramente.

Tabla 3a. Desempeños de clasificadores (F1-score/STD) con selección de atributos

Conjunto de datos	KNN	SVM	Logistic Regression	Decision Tree	Naive Bayes	Neural Network
cmc	0.46/0.02	0.52/0.03	0.52/0.02	0.43/0.02	0.51/0.02	0.52/0.03
dermatology	0.98/0.01	0.98/0.02	0.98/0.01	0.95/0.01	0.82/0.05	0.95/0.04
ecoli	0.86/0.03	0.87/0.03	0.88/0.03	0.80/0.04	0.76/0.07	0.71/0.05
glass	0.67/0.06	0.60/0.02	0.58/0.03	0.63/0.05	0.47/0.11	0.69/0.06
haberman	0.68/0.04	0.70/0.04	0.68/0.05	0.74/0.04	0.72/0.03	0.65/0.02
raisin shuttle	1.00/0.00	0.98/0.00	0.93/0.00	1.00/0.00	0.94/0.00	0.99/0.01

La tabla 3b muestra los mejores parámetros encontrados para cada método de clasificación. En la primera columna se muestra la cantidad de atributos seleccionados en cada conjunto de datos.

Tabla 3b. Parámetros de los clasificadores con selección de atributos

Conjunto de datos Atributos Seleccionados	KNN	SVM	Logistic Regression	Decisión Tree	Neural Network
cmc MrMR:9	K: 13	C: 5, degree:3, kernel: poly	C: 10	criterion: entropy	activation: relu
dermatology MrMR: 24	K: 13	C: 1, degree: 4, kernel: poly	C: 1	criterion: entropy	activation: relu
Ecoli MrMR: 5	K: 7	C: 10, gamma: auto, kernel: sigmoid	C:10	criterion: gini	activation: tanh
glass MrMR: 5	K: 3	C: 10, degree: 2, kernel: poly	C: 10	criterion: entropy	activation: identity
haberman MrMR: 1	K: 11	C: 10, gamma: auto, kernel: sigmoid	C: 0.01	criterion: gini	activation: logistic

raisin shuttle MrMR: 3	K: 3	C: 100, degree: 4, kernel: poly	C: 10	criterion: gini	activation: relu
cmc MrMR:9	K: 13	C: 5, degree:3, kernel: poly	C: 10	criterion: entropy	activation: relu

Resultados Experimento III

Tabla 4a. Desempeños de clasificadores (F1-score/STD) con selección y generación de atributos sintéticos polinomiales

Conjunto de datos	KNN	SVM	Logistic Regression	Decision Tree	Naive Bayes	Neural Network
cmc	0.48/0.02	0.52/0.03	0.54/0.03	0.44/0.04	0.49/0.03	0.54/0.02
dermatology	0.94/0.03	0.95/0.03	0.94/0.03	0.91/0.02	0.83/0.03	0.95/0.04
ecoli	0.73/0.03	0.71/0.04	0.69/0.04	0.71/0.02	0.76/0.02	0.71/0.04
glass	0.94/0.02	0.87/0.03	0.75/0.03	0.98/0.02	0.96/0.01	0.73/0.03
haberman	0.73/0.05	0.67/0.03	0.66/0.03	0.64/0.03	0.71/0.04	0.67/0.03
raisin shuttle	1.00/0.00	0.93/0.00	0.90/0.00	1.00/0.00	0.94/0.00	0.99/0.01

La tabla 3b muestra los mejores parámetros encontrados para cada método de clasificación. En la primera columna se muestra la cantidad de atributos seleccionados en cada conjunto de datos, y el grado polinomial de los atributos sintéticos.

Tabla 4b. Parámetros de los clasificadores con selección y generación de atributos sintéticos polinomiales.

Conjunto de datos Atributos Seleccionados	KNN	SVM	Logistic Regression	Decisión Tree	Neural Network
cmc MrMR: 9 Polinomio: 6	K: 17	C: 100, 'gamma': 0.01, 'kernel': 'sigmoid	C: 1	criterion: entropy	activation: identity
dermatology MrMR: 20 Polinomio: 1	K: 7	C: 100, gamma: 0.01, kernel: sigmoid	C: 1	criterion: gini	activation: relu
Ecoli MrMR: 8 Polinomio: 2	K:11	C: 10, gamma: 1, kernel: sigmoid	C: 10	criterion: entropy	activation: identity
glass MrMR: 2 Polinomio: 2	K: 3	C: 100, gamma: 0.1, kernel: sigmoid	C: 10	criterion: entropy	activation: identity
haberman MrMR: 2 Polinomio: 2	K: 7	C: 100, gamma: 0.1, kernel: sigmoid	C: 10	criterion: gini	activation: logistic
raisin shuttle MrMR: 2 Polinomio: 2	K: 3	C: 100, degree: 5, kernel: poly	C: 10	criterion: gini	activation: relu

Discusión

Con base en los resultados obtenidos, se observa lo siguiente:

- La metodología propuesta es correcta y adecuada para evaluar el efecto de nuevos atributos agregados a los datos, ya que permite evaluar de manera objetiva si estos atributos logran contribuir a enfrentar las complejidades en los datos, mediante la medición del desempeño de los métodos de clasificación.
- La adición de atributos sintéticos polinomiales tiene un efecto positivo (aunque pequeño) sobre el desempeño de los clasificadores con los conjuntos de datos analizados.
- La técnica de selección de atributos por sí misma, también tuvo un efecto positivo y pequeño, ya que los valores de F1-score mejoraron un poco en algunos casos, pero no fue así en la mayoría.

Por lo tanto, se sugiere lo siguiente:

- Considerar la metodología propuesta como una referencia evaluar el efecto de la adición de atributos sintéticos a los datos sobre el desempeño de métodos de clasificación.
- Proponer otros tipos de atributos sintéticos, por ejemplo, con funciones exponenciales, trigonométricas o combinación de varias funciones no lineales.

Trabajo a futuro

Gracias a los resultados obtenidos en este artículo, se plantea la necesidad de continuar realizando pruebas con otros tipos de atributos sintéticos, para enfrentar de mejor manera las complejidades que se pueden encontrar en datos etiquetados. Se tiene planeado el uso de un algoritmo evolutivo para la generación de atributos sintéticos.

Conclusiones

Las complejidades de los datos degradan el desempeño de los métodos de aprendizaje supervisado. Una forma de enfrentar este problema es la generación de atributos sintéticos a los datos. En este artículo se analizó el desempeño de seis métodos de clasificación cuando se agregan atributos sintéticos.

Se realizaron experimentos para evaluar mediante la métrica F1-score, si la adición de atributos sintéticos de tipo polinomial puede ayudar a lograr un mejor desempeño en los clasificadores: SVM, Árbol de decisión, Regresión logística, Naive Bayes, clasificador K-NN y red neuronal multicapa. Además, se combinó este enfoque con la técnica de selección de atributos MrMR, para reducir la dimensionalidad mediante la eliminación de los atributos menos relevantes. Analizando los resultados se encontró que, en algunos conjuntos de datos, los clasificadores tienen un desempeño alto; con la selección y la adición de atributos sintéticos polinomiales se incrementa un poco el valor de F1-score. Así mismo, en los conjuntos de datos donde los clasificadores alcanzan valores bajos, la mejora en el desempeño de los clasificadores no es alta. Se requieren más estudios para determinar si es posible generar atributos de otro tipo que ayuden a lograr un mejor tratamiento a las complejidades presentes en los datos.

El código en Python desarrollando a lo largo de esta investigación se encuentra públicamente disponible en la siguiente liga: <https://github.com/arthurp215/Clasificador-Polinomial-MrMR.git>.

Referencias

- [1] A. C. Lorena, A. I. Maciel, P. B. C. de Miranda, I. G. Costa, and R. B. C. Prudêncio, "Data complexity meta-features for regression problems," *Mach Learn*, vol. 107, no. 1, pp. 209–246, Jan. 2018, doi: 10.1007/s10994-017-5681-1.
- [2] J. Cervantes, F. Garcia-Lamont, L. Rodríguez-Mazahua, and A. Lopez, "A comprehensive survey on support vector machine classification: Applications, challenges and trends," *Neurocomputing*, 2020, doi: 10.1016/j.neucom.2019.10.118.
- [3] S. Xiang, Y. Fu, G. You, and T. Liu, "Attribute analysis with synthetic dataset for person re-identification," Jun. 2020, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2006.07139>
- [4] J. Brownlee, "Imbalanced Classification with Python Choose Better Metrics, Balance Skewed Classes, and Apply Cost-Sensitive Learning," 2020.

- [5] A. J. Larner, *The 2x2 Matrix*. Springer International Publishing, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-74920-0.
- [6] H. Dalianis, *Clinical text mining: Secondary use of electronic patient records*. Springer International Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-78503-5.
- [7] A. H. Alsaffar, “Empirical study on the effect of using synthetic attributes on classification algorithms,” *International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics*, vol. 10, no. 2, pp. 111–129, 2017, doi: 10.1108/IJICC-08-2016-0029.
- [8] Mazzanti Samuele, “‘MRMR’ Explained Exactly How You Wished Someone Explained to You | by Samuele Mazzanti | Towards Data Science,” Feb. 12, 2021. <https://towardsdatascience.com/mrmr-explained-exactly-how-you-wished-someone-explained-to-you-9cf4ed27458b> (accessed Jul. 15, 2022).
- [9] M. Billah and S. Waheed, “Minimum redundancy maximum relevance (mRMR) based feature selection from endoscopic images for automatic gastrointestinal polyp detection,” *Multimed Tools Appl*, vol. 79, no. 33–34, pp. 23633–23643, Sep. 2020, doi: 10.1007/s11042-020-09151-7.
- [10] D. Dua and C. Graff, “UCI Machine Learning Repository.” 2017. [Online]. Available: <http://archive.ics.uci.edu/ml>

Modelo para un repositorio digital de segmentos visuales en LSM utilizando Inteligencia Artificial

Maria L. Galaz Palma¹, César E. Rose Gómez^{*}, María T. Serna Encinas¹, Rafael A. Galaz Bustamante¹

¹Division de Estudios de Posgrado e Investigación,
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Hermosillo, Av. Tecnológico S/N, Col. El Sahuaro,
CP. 83170, Hermosillo, Sonora, México.

m15331171@hermosillo.tecnm.mx, cesar.rose@hermosillo.tecnm.mx, maria.sernae@hermosillo.tecnm.mx,
rafael.galazb@hermosillo.tecnm.mx

Área de participación: Sistemas Computacionales

Resumen

En el Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Hermosillo, se ha estado desarrollando una plataforma con el propósito de implementarla en las escuelas tecnológicas. Esta plataforma tiene el propósito de realizar la traducción del español (en voz) a la lengua de señas mexicana (LSM), lengua utilizada por la comunidad sorda de México, de tal forma de mejorar la educación para las personas con discapacidad auditiva. Se ha logrado obtener el texto en español a partir de la voz y se transforma este texto a texto LSM, es decir siguiendo la estructura gramatical de la LSM. Posteriormente, se desarrolló un repositorio digital de segmentos visuales en LSM. Se han desarrollado plataformas similares a nuestro trabajo, donde se tiene un avatar que hace la interpretación del español a la LSM, pero este tipo de plataformas contienen un repositorio digital muy limitado donde no exceden de las 200 palabras, provocando el deletreo de las palabras no almacenadas. Esto resulta cansado visualmente para las personas con discapacidad auditiva. Por lo tanto, se decidió buscar diferentes fuentes disponibles en la web de videos LSM de personas que enseñan a decir las palabras en español a LSM y buscar la forma de realizar un personaje que se mantenga de forma homogénea sin importar la seña en LSM a realizar. En este artículo se muestra el objetivo crear un repositorio digital con una mayor capacidad de palabras y frases. Así mismo, se buscó la forma de recuperar los segmentos visuales del repositorio para poder generar un video en seña LSM a partir de un texto con gramática LSM.

Palabras clave: Lengua de señas mexicana; Repositorio digital de segmentos visuales; Inteligencia artificial; Visión artificial

Abstract

At the National Technological Institute of Mexico/Technological Institute of Hermosillo, a platform has been developed with the purpose of implementing it in technological schools. This platform has the purpose of translating from Spanish (in voice) to Mexican Sign Language (LSM), a language used by the deaf community in Mexico, to improve education for people with hearing disabilities. It has been possible to obtain the text in Spanish from the voice and this text is transformed into LSM text, that is, following the grammatical structure of the LSM. Subsequently, a digital repository of visual segments in LSM was developed. Platforms similar to our work have been developed, where there is an avatar that interprets from Spanish to the LSM, but this type of platform contains a very limited digital repository where they do not exceed 200 words, causing the spelling of words not stored. This is visually tiring for the hearing impaired. Therefore, it was decided to look for different sources available on the web of LSM videos of people who teach LSM to say the words in Spanish and find a way to make a character that remains homogeneous regardless of the sign in LSM to make. This paper shows the objective of creating a digital repository with a greater capacity of words and phrases. Likewise, a way to retrieve the visual segments from the repository was sought in order to generate a video in LSM sign from a text with LSM grammar.

Key words: Mexican Sign Language; Digital repository of visual segments; Artificial intelligence; Artificial vision

Introducción

Tener una educación nos permite obtener una gran cantidad de beneficios, entre los cuales está el alcanzar nuestros objetivos y ayuda a tener una vida más saludable y sostenible. Asimismo, nos ayuda a crear sociedades más pacíficas y fomenta la tolerancia entre las personas [1]. Por lo tanto, la educación es un derecho para todos. Sin embargo, se tienen a personas con diferentes capacidades las cuales deben tener una educación inclusiva

para cada una de ellas, lo anterior se ha estado fortaleciendo con el paso de los tiempos, pero aún falta y se tiene mucho camino por recorrer.

Unas de las personas más afectadas para la inclusión son las personas sordas, por la dificultad de comunicarse en una sociedad donde predominan las personas no sordas.

México es un país multilingüe [2], donde tiene como lengua mayoritaria el español. Sin embargo, este cuenta con la lengua de señas mexicanas (LSM), la cual es la lengua utilizada por la comunidad sorda de México. A pesar de tener la LSM, muy poca gente habla este idioma ya que la gramática del español a la LSM es completamente diferente. Esto se debe a la diferente forma de ver el mundo de un sordo a la de un oyente. Es decir, es un idioma sencillo para las personas sordas, pero no para los oyentes. Así mismo, al haber una cantidad mayor de oyentes en la sociedad, podemos decir que la LSM es una lengua minoritaria. Esto afecta principalmente en la educación de las personas sorda dando como consecuencia que el 40% de la población sorda en México es analfabeta [3]. Debido a lo anterior, se han buscado diferentes soluciones con el propósito de implementar mayores herramientas en la educación, con el propósito de hacer una educación inclusiva para las personas sordas.

En el TecNM/Instituto Tecnológico de Hermosillo, se consideró ayudar a fomentar una educación inclusiva y se tiene como propósito el diseño de una plataforma para la asistencia a personas con discapacidad auditiva, para facilitar su entorno de aprendizaje en un sistema de educación superior tecnológica.

Se inició con el proyecto realizado por Barraza [4] el cual desarrolló una plataforma para la asistencia de personas con discapacidad auditiva en el contexto de la educación. Esta misma plataforma cuenta con la traducción en voz del español a la lengua de señas y contiene la mayoría de las funciones necesarias para hacer funcional la plataforma. Sin embargo, esta necesita mejoras para una correcta traducción del español al LSM. Uno de los aspectos que mejorar de la plataforma es hacer la traducción desde la gramática del español a la LSM, siendo el objetivo principal del trabajo de tesis realizado por Hernandez [5].

Así mismo, la plataforma necesita una mejora visual para el momento de mostrar las señas, ya que ésta plataforma muestra los videos de los intérpretes de la web haciendo las señas de cada palabra, siendo incómodo de ver para las personas sordas. Por lo tanto, para la solución del problema anteriormente planteado se tiene como objetivo diseñar un modelo que incluya los elementos para recuperar palabras o sentencias en videos de LSM y transformarlos a modelo 3D en movimiento, para la creación de un repositorio digital de segmentos visuales de LSM y su uso en la visualización de texto LSM.

Trabajos Relacionados

En esta sección se mencionarán algunos trabajos de investigación que cuentan con alguna relación relevante a este artículo, de personas que han querido aportar en la comunidad soluciones a la necesidad de mejorar la comunicación entre personas con discapacidad auditiva y oyentes.

En [6] se desarrolló un sistema de traducción español a lengua de señas mexicana (LSM), con la utilización de un modelo 3D (avatar) y reconocimiento de voz. Consta de una plataforma interactiva con el usuario, donde se puede seleccionar una de las palabras del vocabulario o frases ya establecidas, mientras el avatar realiza la traducción en LSM.

El desarrollo de repositorio digital fue mediante la detección de los movimientos de un intérprete. El intérprete se encontraba en un ambiente adecuado para poder realizar la captura de su movimiento, al realizar una seña en LSM, y los datos obtenidos se los dan a un avatar quien copia sus movimientos. Este sistema tiene un desempeño del 96.2%. A pesar de mostrar un desempeño satisfactorio, este no cuenta con la traducción del español al LSM en tiempo real y cuenta con solo 70 palabras en total en la base de datos.

Asimismo, en [7] se presenta una plataforma para dispositivos Android capaz de realizar traducciones de voz o texto del español a la lengua de señas ecuatoriana (LSEC). Este avatar se desarrolló con el software Daz Studio 4.9 Pro, mismo software que permite asignar los movimientos corporales correspondientes para la formación de las diferentes palabras.

Esta técnica tiene un 5% de margen de error. Así mismo la plataforma consta de 120 palabras en su base de datos, donde se tiene una limitación de 25 caracteres a las frases a traducir.

Arquitectura del Modelo

Como se ha mencionado previamente, el propósito del este trabajo es obtener un repositorio digital con una mayor capacidad de palabras y frases dentro de ella, por lo tanto, se decidió aprovechar los videos realizados por personas con el deseo de fomentar la LSM en la comunidad, donde dicen como se hace la seña en LSM de frases o palabras del español. Para lograr esto, se decidió realizar un modelo capaz de recuperar esos videos y procesarlos de tal modo, tener lo que es un personaje homogéneo que pueda realizar la traducción del español al

LSM, a pesar de obtener sus movimientos de diferentes personas. Por lo tanto, en esta sección se muestra el desarrollo de la arquitectura del modelo.

El desarrollo del repositorio digital de segmentos visuales en lengua de señas mexicanas (LSM), se siguió según la arquitectura mostrada en la Figura 1. Se comienza identificando los diferentes sitios web, que tengan palabras o frases en LSM en un formato de video. Estos videos tienen a un intérprete realizando la seña en LSM correspondiente.

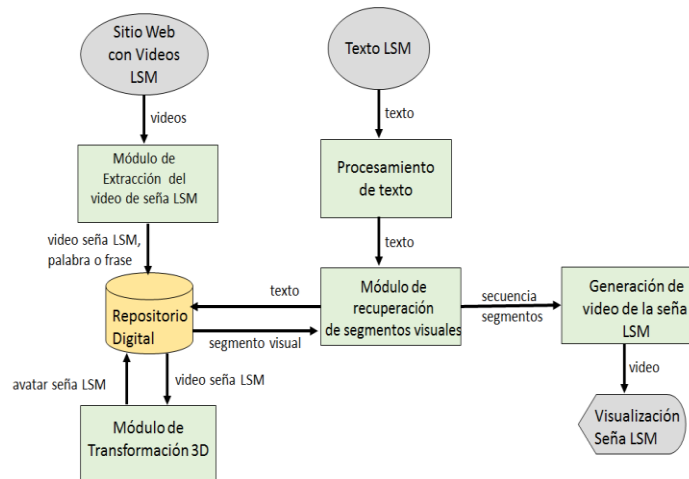


Figura 1 Arquitectura para la creación y uso de un repositorio digital de segmentos visuales en LSM.

Teniendo identificados este sitio web, se hace la extracción de estos videos dentro de módulo de extracción de video de seña LSM, como se puede ver según la Figura 1. La forma de realizar la extracción varía según el sitio en donde se desean obtener los videos. Los tres tipos de sitio utilizados fueron: videos de YouTube de intérpretes que tienen el propósito de fomentar la LSM en la sociedad; WikiSin [8], diccionario de la web de la LSM; y el repositorio digital de DIESEME [9]. Estos videos de la seña LSM se procesan y se almacenan dentro del repositorio digital vinculados con la palabra traducida al español.

Teniendo almacenado los videos, se prosigue con el módulo de transformación 3D. Este módulo consiste en transformar los movimientos de la persona realizando las señas LSM a movimientos 3D, dentro de un avatar utilizando la tecnología SMPLX. Se inicia extrayendo las características 2D de los videos, utiliza la visión por computadora, mediante OpenPose [10] [11] [12] [13]. OpenPose cuenta con una red neuronal pre entrenada capaz de detectar los movimientos del cuerpo humano, como también los gestos faciales y la posición de las manos dentro de un video 2D. Los datos obtenidos mediante OpenPose son guardados en formato json para después generar el modelo 3D. Se continua generando el modelo 3D con el uso del algoritmo de smplx [14], el cual utiliza el modelo 3D smplx y adapta su posición corporal, facial y manos, según los datos obtenidos por OpenPose de una imagen 2D. De esta forma se genera un modelo 3D para cada fotograma del video de la seña LSM y el conjunto de movimientos se transforma a formato mp4 para posteriormente ser almacenado dentro del repositorio digital de segmentos visuales.

Al tener generado los videos del modelo 3D de cada una de las señas LSM obtenidas, se tiene completado el repositorio digital de segmentos visuales. La continuación del proceso según la Figura 1, es la parte del uso del repositorio digital.

Se parte desde un texto LSM donde ya se encuentra procesado desde la lengua natural del español, hasta el texto con gramática del LSM, trabajo realizado por [4] y [5].

El texto LSM se separa por palabras o frases ya establecidas en el repositorio digital y se procede al módulo de recuperación de segmentos visuales. En este módulo, se llaman los segmentos visuales correspondientes al texto dado, dando una secuencia de los movimientos, generando un video de la seña LSM. Con esto se visualizará las señas en LSM del texto correspondiente mediante un avatar.

Implementación

A continuación, se expone la implementación del modelo mostrado en la sección anterior.

Implementación de la base de datos

La base de datos se implementó en el manejador de bases de datos PostgreSQL, la base de datos sólo contiene una tabla, y 3 campos. El primer campo tiene como nombre "palabra". En este se almacena el texto asociado a los videos de la seña LSM, y es de tipo varchar. Se decidió poner el campo "palabra" como llave primera con el

propósito de no repetir palabras. El siguiente campo es "originalsenia", donde se almacena el video original de la seña LSM y es de tipo bytea. Finalmente, está el campo avatarsenia, donde se almacena el segmento visual de modelo 3D realizado la seña LSM correspondiente.

Implementación del módulo de extracción del video de seña LSM

La implementación de este módulo se ha desarrollado en el lenguaje Python. Para el uso de Python en un entorno gráfico amigable se instaló Anaconda Navigator quien permite el uso de entornos gráficos virtuales con las características requeridas para el desarrollador. Al instalar Anaconda Navigator se preparó el entorno virtual desde Jupyter Notebook, que nos permite manejar las librerías necesarias.

En este módulo se realizan diferente tipo de procesos, los cuales son necesarios para poder obtener la seña LSM y su traducción al español. Al ser videos obtenidos de forma heterogéneas de la web, se presentan diferentes situaciones, como, por ejemplo, se tienen videos que tienen una introducción al comienzo del video o despedidas al final de los videos los cuales no son relevantes en la seña LSM. Otra situación dada son los videos donde el texto de la palabra en español se encuentra dentro del video o simplemente se tiene el video de la seña LSM y el nombre del video ya tiene la palabra en español.

Por lo tanto, para los distintos procesos se implementaron como se describe a continuación:

- 1) *Procesamiento de imágenes:* Para el procesamiento de imágenes se usó la librería OpenCV, la cual contiene diversas funcionalidades para el preprocesamiento de la imagen, tales como el ajuste del tamaño de la imagen, así como el reconocimiento de rostros para considerar sólo aquellos que contengan una persona, para eliminar partes del video que sean irrelevantes a la seña LSM, como introducciones de los videos.
- 2) *Obtención del texto en una imagen:* Al detectarse un rostro dentro del fotograma, se prosigue a detectar patrones de texto mediante EAST, una librería de opencv de aprendizaje profundo que es capaz de detectar texto dentro de una imagen. De esta forma, se agrega un algoritmo capaz de descartar fasos positivos, (como el texto encerrado en rojo de la Figura 2, el cual es el nombre de la persona realizando la seña), tomando una captura de imagen donde se encuentra el texto aceptado (Figura 2), se procesa de tal manera que sea sencilla su lectura para la computadora y mediante un reconocedor óptico de caracteres Tesseract, detecte los caracteres dentro de esa imagen y forme la palabra deseada. De esta forma se recupera el texto dentro de la imagen.



Figura 2 Detección del texto dentro de un fotograma

Implementación del módulo de Transformación en 3D

Para realizar la implementación del módulo de Transformación en 3D se utilizó el sistema operativo Ubuntu 18.04, Cuda 10, CUDNN 7.3. y Python 3.6. Así mismo, se dio uso de Google Colab Pro para utilizar OpenPose, ya que se necesita una memoria GPU mayor de 6G para el procesamiento de los videos. Así mismo se dio uso de entornos virtuales "venv", con el propósito de tener un área de trabajo deseable sin presentar incompatibilidad entre librerías, para cada proceso.

Para la extracción de características 2D se dio uso de 3 modelos pre entrenados de machine learning utilizando visión computacional. Con el propósito de detectar los movimientos de los intérpretes dentro de los videos en LSM. Estos modelos pertenecen a OpenPose y consumen una gran cantidad de memoria GPU. Por lo tanto, fue necesario utilizar Google Colab Pro, ya que permite ejecutar el programa con un mayor tiempo de ejecución, memoria de almacenamiento y memoria GPU.

Los datos generados con OpenPose son almacenados dentro de Google drive y después se almacena dentro de un repositorio temporal para poder transformar los datos al modelo 3D.

El modelo 3D utilizado para la realizar las señas en LSM es el modelo SMPLX neutro y se utiliza un algoritmo el cual se define la postura y expresión facial del modelo 3D mediante una imagen 2D, llamado simplify-x. Este algoritmo se le da como entrada una imagen 2D y las características 2D de la imagen en formato json y mediante una red neuronal profunda la cual es capaz de calcular las características 2D a características 3D, genera el modelo 3D con los datos calculados. En la Figura 3 se muestra un ejemplo de la implementación del código para generar el modelo 3D de la seña *tarea*. En la parte superior de la Figura 3, se encuentra el video original de la palabra "Tarea" y el parte inferior se muestra el resultado del modelo 3D utilizando simplify-x.

El resultado obtenido se encuentra en formato obj y este lo transformamos a formato png, con el objetivo de reunir todos los movimientos del modelo 3D y transformarlo a un video en formato mp4. Para lo anterior se da uso de Python 3.6.

Finalmente, el video generado se almacena dentro de la base de datos de PostgreSQL, teniendo de esta forma el repositorio digital de segmentos visuales definido.



Figura 3 Modelo 3D utilizando simplify-x

Implementación del módulo de Recuperación de Segmentos Visuales

Al tener almacenado en el repositorio digital el segmento visual de las palabras o frases en LSM, se prosigue al módulo de Recuperación de Segmentos Visuales. Para este módulo el propósito es lograr obtener la secuencia de los segmentos visuales respetando la gramática de la lengua de señas mexicanas. Para esto se dio uso de Python 3.9.7 e IDLE como editor de Texto.

Comenzamos revisando si la frase o palabra que queremos traducir del español al LSM se encuentra dentro del repositorio. Realizamos la consulta como se muestra en la Figura 4.

```
# Este programa recupera de la base de datos el video de la palabra asociada
# El resultado se almacena como un archivo mp4
#palabra='zapato'
conexion1 = psycopg2.connect(host="localhost", database="LSM", user="postgres", password="****", port="5432")
cursor1=conexion1.cursor()

cursor1.execute(""" SELECT avatarsenia
                    FROM public.senialsm
                    WHERE palabra like 'hola como estas';
                    """)
```

Figura 4 código para realizar consultas dentro de Postgresql

Si al realizar la consulta de una frase devuelve un valor, se recupera el segmento visual de la seña LSM para posteriormente ser utilizado en el módulo de visualización de la seña. Por lo contrario, se proseguirá con procesar la frase a gramática de la LSM con el código generado por [5], se consultará cada una de las palabras con el orden

establecido según la gramática de la LSM y serán guardados para posteriormente generar el video de la seña LSM. En el caso de que una palabra no se encuentre dentro del repositorio será deletreada por el modelo 3D.

Implementación para generar el Video de la Seña LSM.

Teniendo los segmentos correspondientes para poder visualización la frase/palabra deseada en LSM, se prosigue a unir los videos de una forma consecutivas siguiendo la secuencia correspondiente. Para esto, se utiliza Python y la librería moviepy, el cual permite realizar edición a videos como unir, rotar, cortar, etc.

Prueba y Análisis de Resultado

Para finalizar, se realizaron diferentes pruebas y se obtuvieron diversos resultados donde se encontraron resultados satisfactorios como errores. Lo anterior se explica dentro de esta sección.

Extracción de secuencia de fotogramas y su correspondiente texto de videos de LSM

Los videos LSM obtenidos de diversas fuentes tales como YouTube, diccionarios en la Web y el diccionario DIELSEME nos ha permitido crear un corpus de 2455 videos de señas LSM que se encuentran almacenados en el repositorio. Para la obtención de estos videos LSM se usaron varios videos de prueba para la extracción de la secuencia de fotogramas y su correspondiente texto y validar la funcionalidad.

En el momento de hacer las validaciones de la extracción, como se muestra en la Figura 5, se pueden apreciar diversas situaciones donde se hacía una extracción con éxito de los videos (marcados con una palomita verde) y situaciones donde se presentan errores (marcados con una cruz roja). Estos errores suceden debido a una mala detección del texto dentro del video, ya sea por los movimientos del intérprete donde obstruye el texto provocando una interrupción en la extracción de los fotogramas o un contraste inadecuado en los fotogramas. Con los errores presentados anteriormente, se realizó una mejora del algoritmo con el propósito de minimizar los videos con extracciones erróneas.

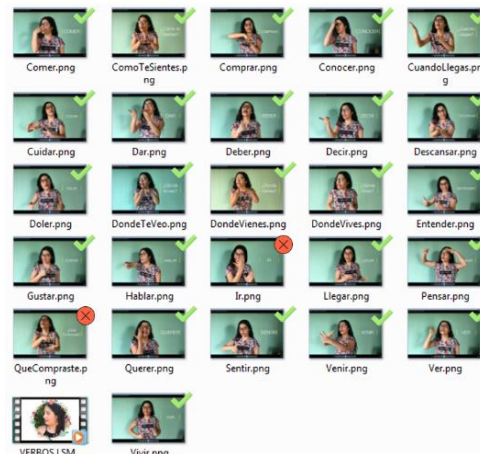


Figura 5 Resultado de video para la validación del algoritmo de extracción

Cabe mencionar, al tener varias fuentes para obtener las palabras en LSM, se repetían ciertas palabras, por lo tanto, se rempazan las palabras por los videos con mejores propiedades para una mejor lectura.

Generación del modelo 3D con respecto a videos almacenados en el repositorio digital.

La generación de los modelos 3D respecto a los videos almacenados en el repositorio, se comienza pasando por el proceso de OpenPose, el cual se logró realizar el mapeo de los 2455 videos almacenados en la base de datos, en un tiempo estimado de 20 horas en total.

Los videos de las señas LSM, se graban a partir del torso hacia arriba, lo cual las partes inferiores como las piernas, no se logran mapear, como se aprecia en la Figura 6.



Figura 6 Mapeo del video apagar. Fuente: elaboración propia con video público de la web y uso de Openpose.

Así mismo, estos videos al ser obtenidos por la web no cuentan con un escenario normalizado, provocando fallas en la lectura de algunos fotogramas de los videos para detectar correctamente la posición de algún miembro del cuerpo. Mediante las pruebas realizadas para poder generar el modelo 3D a partir de la extracción de las características 2D de los fotogramas de los videos, se descubrió que para una transformación al modelo 3D exitosa es necesario conocer las coordenadas 2D de la cadera derecha, cadera izquierda y pelvis. Sin embargo, al tener los videos con variación de contraste o tienen escenarios distintos, se dan situaciones de fallas para una detección correcta, provocando resultados como los mostrados en la Figura 7. En la parte superior izquierda se logra notar que falta la detección de los puntos de las caderas del interprete dando un modelo 3D como se muestra en la parte superior derecha. En la parte inferior izquierda faltan los puntos de las caderas y la pelvis dando como resultado el modelo 3D de la parte inferior derecha.

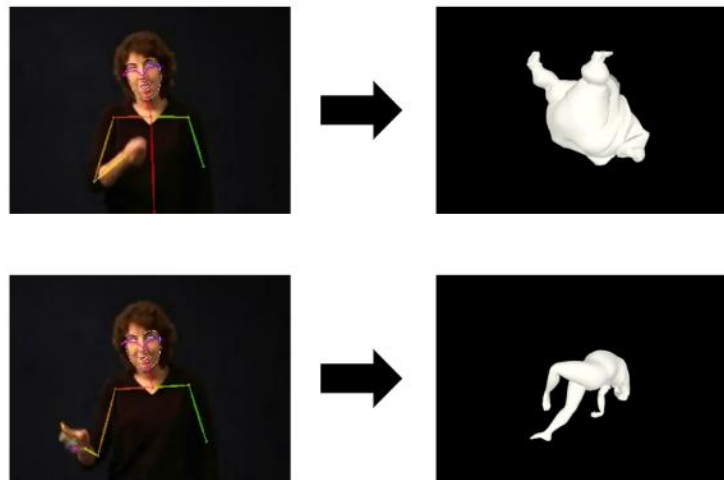


Figura 7 Falla de detección de la parte inferior del torso. Fuente: elaboración propia utilizando videos públicos de la web, openpose y simplify-x

El problema anterior, se solucionó mediante cálculos matemáticos, basados en la relación de proporciones de un cuerpo perfecto [15] que existen entre los diferentes miembros, utilizado por artistas al momento de crear obras del cuerpo humano [16]. En el momento de realizar estas correcciones, nos arroja un resultado como se muestra en la Figura 8, donde muestra una corrección del modelo 3D bastante significativa.

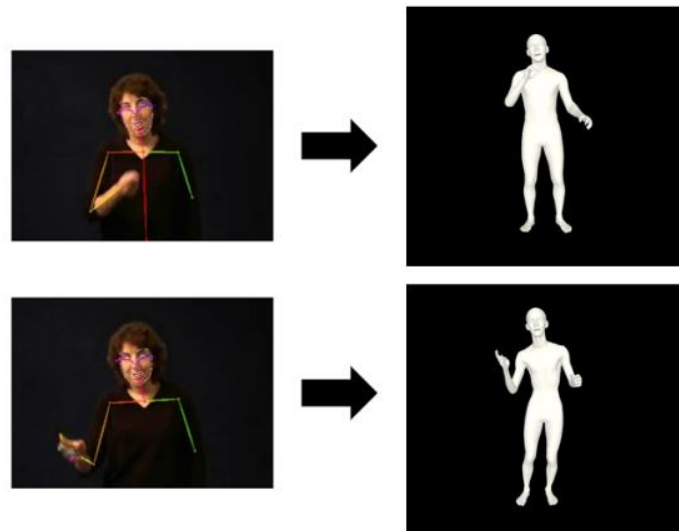


Figura 8 Solución de keypoints faltantes. Fuente: elaboración propia utilizando video público de la web, openpose y simplify-x

En el caso de los videos de las señas en LSM los cuales cuentan con las mejores propiedades para las lecturas de las características 2D, muestran resultados exitosos en el momento de la transformación 3D, como se puede ver en la Figura 9, donde se logra mapear los valores de los puntos de la cadera derecha e izquierda y pelvis del interprete.



Figura 9 Generación de modelo 3D a partir de un video. Fuente: elaboración propia utilizando video público de la web, openpose y simplify-x

Teniendo el modelo 3D generado, se prosigue con convertirlo del formato obj al formato png. Por lo tanto, se tiene que definir la orientación del modelo 3D que queremos que se encuentre. Los valores seleccionados fueron un azimut de -95 y una elevación de 100, siendo el valor más preciso para obtener la misma orientación para todos los modelos 3D. Sin embargo, se presentaban excepciones donde se necesita hacer una modificación de estos valores para una mejor orientación.

Finalmente, al tener el modelo 3D de cada fotograma en formato png, estos se juntan y se transforman a un video 3D del modelo 3D realizando la seña, como se ve en la Figura 10, y lo almacenamos correctamente a en la base de datos. En la Figura 10 se muestra algunos de los videos resultantes del modelo realizando las señas en LSM y se tienen marcado con una paloma verde los videos que contienen una transformación 3D correcta y una orientación deseada, mientras los marcados con cruz roja son los videos que presentan algún problema con la transformación 3D de uno de sus fotogramas o se presenta una orientación la cual necesita definir mejor su orientación.

Otro detalle que recalcar, es el tiempo de ejecución de este módulo demoraba alrededor de 45 minutos para un video de 33 fotogramas, utilizando una computadora de computadora de tarjeta gráfica de GTX 1060 6GB. Lo anterior se considera un tiempo elevado y un consumo alto del procesador, considerando asimismo videos de mayor duración que exceden los 200 fotogramas.

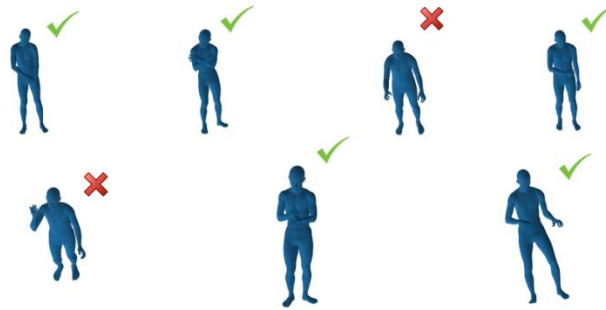


Figura 10 Videos de las señas LSM. Fuente: Elaboración propia.

Recuperación de los segmentos visuales y generación del video LSM

Para finalizar, se continuó generando diferentes frases del español a la Lengua de Señas Mexicanas, con el propósito de probar como se recuperaban los segmentos visuales y se generaba el video final de la seña LSM, se hicieron diversas pruebas con diferentes frases u oraciones obteniendo la tabla de la Figura 11 que muestra algunos resultados. En la primera columna se encuentran las frases u oraciones utilizadas para hacer las pruebas. Estas pruebas se hicieron con el propósito de ver si fue correcta la recuperación de los segmentos visuales y generar el video ya sea si la frase u oración se encontraba dentro del repositorio digital ya definido, si era necesario descomponer la frase y recuperar cada una de las palabras o si se tenía que deletrear la palabra no almacenada.

Frase u Oración	Cantidad de videos	Videos usados	Correcto/Incorrecto
El alumno comprende la computación	3	<ul style="list-style-type: none"> • Computación • Alumno • Comprender 	✓
La anciana abraza a su hija	4	<ul style="list-style-type: none"> • Suya • Hija • Anciana • Abrazar 	✓
Estoy aprendiendo LSM	1	<ul style="list-style-type: none"> • Estoy aprendiendo LSM 	✓
Vamos a trabajar durante una hora	12	<ul style="list-style-type: none"> • Nosotros • Ir • Durante(deletreado) • Trabajo • Uno • hora 	✗

Figura 11 Tabla con la cantidad de videos utilizados para formar una determinada frase

En las 3 primeras oraciones obtenemos un resultado satisfactorio recuperando los segmentos visuales correspondientes y siguiendo la secuencia correcta. Sin embargo, en la última oración obtenemos un resultado insatisfactorio, ya que se tiene una palabra que se tiene que deletrear y el modelo 3D presenta inconsistencia en los dedos para hacer un deletreo, siendo complicado entender la palabra que desea deletrear.

Sin embargo, se logró tener un resultado satisfactorio para la recuperación de los segmentos visuales y transformar los resultados a un video. Cabe mencionar, que entre cada palabra se logra visualizar un corte entre cada una de ellas por lo tanto en trabajos futuros se piensa corregir este problema.

Discusiones y Conclusiones

Esta investigación tuvo como objetivo crear un modelo para la creación y uso de un repositorio digital de segmentos visuales en lengua de señas mexicanas (LSM) con la aplicación de la inteligencia artificial. Esto con el propósito de aportar una solución en la educación de las personas con discapacidad auditiva y de esta forma dar apoyo en el desarrollo de una educación inclusiva.

Se aprovecharon los videos obtenidos de diferentes sitios de la web proporcionados por diferentes personas que tienen el conocimiento de la LSM. Al ser videos obtenidos de fuentes heterogéneas cuentan con diferente formato siendo necesario aplicar diferentes procesos para su exportación. Así mismo, se logró obtener 2455 palabras o frases en LSM para el repositorio digital.

Se logro transformar los videos obtenidos en la web a modelo 3D con la utilización de OpenPose y Smplify-x. Este proceso toma un tiempo alto para su ejecución y su transformación a modelos 3D, por lo tanto, no fue posible generar el modelo 3D de todos los videos obtenidos de la web. Así mismo, aun se presentan fallas para la obtención de las características 2D y desarrollar el modelo 3D de forma más precisa.

Teniendo la generación de los modelos 3D, se logró definir el repositorio digital de segmentos visuales en LSM y para la recuperación de los segmentos se utilizaron diferentes algoritmos para obtenerlos. Aun hace falta la implementación del código desarrollado por [5], pero los resultados obtenidos mediante las pruebas realizadas demuestran que se podrán implementar de forma sencilla.

Finalmente, se logró la generación del video de la seña LSM con el avatar, este video puede ser implementado dentro de la plataforma desarrollada por [4], el cual será implementada en un futuro. Aun se necesita agregar una textura humana al modelo 3D, ya que este se mantiene de un color azul, y no lo hace muy agradable visualmente. Para un trabajo a futuro, se propone la necesidad de utilizar una super computadora, por el consumo de tiempo y procesamiento en la ejecución del módulo de transformación 3D.

También, se propone a futuro buscar una solución para generar una continuidad entre cada seña evitando la visión de cortes entre cada una de ellas.

Agradecimiento

Se agradece el apoyo al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca numero 004312 otorgada al primer autor.

Referencias

- [1] Secretaria de Cultura, «México es uno de los países con mayor diversidad lingüística en el mundo,» Gobierno de Mexico, 18 febrero 2019.
- [2] Naciones Unidas, «Eduación de Calidad: Porque es Importante,» 10 Marzo 2016. [En línea]. Available: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/4_Spanish_Why_it_Matters.pdf. [Último acceso: 13 Julio 2022].
- [3] E. Arenas, «Por una educación de verdad incluyente,» *El occidental*, 28 Septiembre 2019.
- [4] E. D. Barraza Granillo, Plataforma para la asistencia de personas con discapacidad auditiva en el contexto de la educación [Tesis de Maestría], Hermosillo: Instituto Tecnológico de Hermosillo, 2018.
- [5] J. C. Hernández Cruz, Traducción de Texto en Español a Texto LSM Usando Aprendizaje Profundo [Tesis de Maestría], Hermosillo: Instituto Tecnológico de Hermosillo, 2019.
- [6] S. O. Caballero Morales y F. Trujillo Romero, «3D Modeling of the Mexican Sign Language for a Speech to-Sign Language System,» *Computación y sistemas*, vol. 17, nº 4, pp. 593-608, 2013.
- [7] M. Carguacundo y P. Constante, «Traductor de texto y voz a la lengua de señas ecuatoriana a través de un avatar implementado para dispositivo Android,» *Infociencia*, vol. 12, nº 1, pp. 20-25, 2018.
- [8] S.-E. Wei, V. Ramakrishna, T. Kanade y Y. Sheikh, «Convolutional pose machines,» de CVPR, 2016.
- [9] T. Simon, S.-E. Wei y Y. Sheikh, «The first real-time multi-person system to jointly detect human body, hand, facial, and foot keypoints,» *Doxygen 1.9.1*, [En línea]. Available: https://cmu-perceptual-computing-lab.github.io/openpose/web/html/doc/md_doc_02_output.html. [Último acceso: 08 Junio 2022].
- [10] M. Loper, N. Mahmood, J. Romero, G. Pons-Moll y M. Black, «SMPL: A skinned Multi-Person Linear Model,» *ACM Trans. Graphics (Proc. SIGGRAPH Asia)*, vol. 34, nº 6, pp. 248:1--248:16, 2015.
- [11] G. Pavlakos, V. Choutas, N. Ghorbani, T. Bolkart, A. A. A. Osman, D. Tzionas y M. J. Black, «Expressive Body Capture: {3D} Hands, Face, and Body from a Single Image,» *Proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 10975-10985, 2019.
- [12] Z. Cao, G. Hifalgo Marinez, T. Simon, S. Wei y Y. A. Sheikh, «OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields,» *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2019.
- [13] T. Simon, H. Joo, I. Matthews y Y. Sheikh, «Hand Keypoint Detection in Single Images using Multiview Bootstrapping,» de CVPR, 2017.
- [14] Z. Cao, T. Simon, S.-E. Wei y Y. Sheikh, «Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields,» de CVPR, 2017.
- [15] L. Da Vinci, Artist, *El Hombre de Vitruvio*. [Art]. 1490.
- [16] J. Medlej, «Fundamentos de anatomía: Proporciones del cuerpo humano,» *evatotuts+*, 19 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://design.tutsplus.com/es/articles/human-anatomy-fundamentals-basic-body-proportions--vector-18254>. [Último acceso: 18 06 2022].

Interpretación de letras en lenguaje de señas a través de imágenes utilizando redes neuronales convolucionales

M. A. Aguilar Cortés^{1*}, M. Aguilar Cortés², J. Robles Calderón³, A. Pérez López⁴, H. Vicenteño Rivera⁵

¹División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II SN, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán Puebla., México. marco.ac@teziutlan.tecnm.mx,

²División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II SN, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán Puebla., México, miguel.ac@teziutlan.tecnm.mx,

³División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II SN, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán Puebla., México. jacobito.rc@teziutlan.tecnm.mx,

⁴División de Ingeniería en Informática, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II SN, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán Puebla., México. adriana.pl@teziutlan.tecnm.mx,

⁵División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II SN, Aire Libre, C.P. 73960, Teziutlán Puebla., México. hector.vr@teziutlan.tecnm.mx

Área de participación: Sistemas Computacionales

Resumen

Uno de los principales problemas que enfrentan las personas con discapacidad auditiva es comunicarse con el resto de la sociedad debido a que la mayoría de las personas desconoce el lenguaje de señas. La presente investigación muestra los resultados de haber desarrollado y entrenado una red neuronal convolucional con la finalidad de interpretar el abecedario en lenguaje de señas utilizando un modelo de predicción. Para lograr el objetivo, se desarrolló una metodología de seis etapas que inicia en la recolección de fotografías a través de un repositorio web y finaliza cuando la red neuronal compara una imagen y despliega en pantalla el valor de la letra interpretada. Después de realizar pruebas con diferentes elementos, se logró identificar el 80% de las letras evaluadas. Como trabajo a futuro se planea integrar el modelo a una aplicación móvil para interpretar las señas en tiempo real y no a través de fotografías.

Palabras clave: señas, red neuronal, intérprete

Abstract

One of the main problems faced by people with hearing disabilities is communicating with the rest of society because most people do not know sign language. This research shows the results of having developed and trained a convolutional neural network in order to interpret the alphabet in sign language using a prediction model. To achieve the objective, a six-stage methodology was developed that begins with the collection of photographs through a web repository and ends when the neural network compares an image and displays the value of the interpreted letter on the screen. After performing tests with different elements, it was possible to identify 80% of the letters evaluated. As future work, it is planned to integrate the model into a mobile application to interpret the signs in real time and not through photographs.

Key words: sign, neural network, interpreter.

Introducción

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del Instituto Nacional de Información Estadística y Geografía, aproximadamente 7 millones de personas tienen algún tipo de discapacidad. Esto equivale al 5.69% de la población [1]. De ese porcentaje, más de dos millones de personas tienen problema para hablar, comunicarse y escuchar. Esto trae como consecuencia que la sociedad discrimine a este grupo de personas por no tener formas de comunicarse con ellos.

Los lenguajes tienen la virtud de proporcionarnos formas alternativas de pensar, comprender y relacionarlos con el mundo que nos rodea y de igual manera ampliarlo y modificarlo. El lenguaje brinda la posibilidad de relacionarse con otras personas y provee a los seres humanos de una herramienta de acceso de un modo diferente a un mundo que todas y todos conforman [2].

Con el objetivo de que las personas con algún tipo de discapacidad de habla o auditiva puedan entablar una conversación, se desarrolló un lenguaje de señas que les permite comunicarse con otros individuos, sin embargo, no les permite el mismo grado de comunicación e integración con el resto de la sociedad, sobre todo con aquellas que no conocen dicho lenguaje.

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar una estrategia que permita utilizar las bondades con las que cuenta actualmente la tecnología para resolver problemas que afectan principalmente a las personas con discapacidad auditiva y de habla. Para eso, se propone trabajar con Machine Learning para lograr implementar un modelo de predicciones y lograr interpretar letras a través de imágenes de señas.

El Machine Learning se define como la práctica de programación de una computadora para aprender a partir de los datos existentes y que por medio de la industria 4.0 se integran las innovaciones con diferentes sectores sociales [3]. Un ejemplo es el área de las ciencias de la salud, donde se desarrollaron diferentes aplicaciones que permiten realizar un diagnóstico oportuno de algunas enfermedades, como por ejemplo del cáncer de seno en donde se han creado redes neuronales las cuales a partir de imágenes obtenidas de diferentes casos se pueden identificar amenazas potenciales de carcinoma, dando un diagnóstico más exactos y oportunos. Por otro lado, Machine Learning se ha aplicado con éxito en el área de las ciencias físicas, en el análisis de mecánica de fluidos [4] sobre la detección de diferentes manifestaciones cinético-dinámicos de un determinado fluido a partir de algunas alteraciones externas.

Esto significa que el uso de las redes neuronales es una herramienta que se utiliza para diferentes procesos del día a día en múltiples escenarios de la vida humana. Esto se ve representado en el desarrollo de aplicaciones que reconocen objetos, personas, animales o plantas a partir de una imagen [5]. Esto podría ayudar a interpretar elementos a los que no se tiene conocimiento, por ejemplo, una seña con la que se trate de comunicar algo.

Con relación a lo mencionado anteriormente la visión artificial ha realizado grandes avances en el proceso de identificación de caracteres en lenguaje de señas para una comunicación eficaz, realizando procesos estandarizados para la obtención de datos; sin embargo, una problemática a la cual se ve anclado es el pequeño sector al cual está dirigido, puesto que usar tecnologías que suponen el uso de programas de escritorio (es decir que sólo funcionen en un equipo de cómputo) hace que su alcance sea limitado [6]. Pensando en esta necesidad, se vislumbra realizar un proceso que tenga mejoras en cuanto al algoritmo, detección y muestra de resultados, utilizando un entorno web para que el alcance de este cometido pueda llegar a la mayor parte del territorio mexicano sin necesidad de depender de un programa alojado en un equipo de cómputo.

El artículo se divide en diferentes momentos, primero se propone una metodología de trabajo que permite planear como serán realizadas cada una de las actividades. Posteriormente se procede con la obtención de fotografías. Adicionalmente, se describe como se realiza la clasificación de letras. Después, se muestra el entrenamiento de la red neuronal convolucional para realizar predicciones con diferentes fotografías. Finalmente, se presentan los resultados y las conclusiones de la investigación.

Metodología

La metodología propuesta se divide en seis etapas para obtener el modelo entrenado y así realizar las predicciones de las letras. A continuación, se describen cada una de las actividades realizadas:

- **Recolección de imágenes:** los usuarios proceden a tomarse fotografías con un dispositivo móvil representando una seña o buscando ilustraciones en internet.
- **Almacenamiento en el servidor:** el usuario se registra en la plataforma y comienza a subir las fotos o imágenes obtenidas en el paso anterior. Es importante mencionar que, si el usuario cuenta con una webcam, la aplicación permite capturar fotos y almacenarlas directamente.
- **Proceso de recolección de recursos:** a través de un método recursivo, se obtienen todas las imágenes de todos los usuarios y se clasifican por letra en una carpeta en específico.
- **Desarrollo y entrenamiento de la red neuronal convolucional:** se procedió a codificar la red neuronal tomando en cuenta las imágenes obtenidas en el servidor.
- **Modelo entrenado.** Se obtuvo el resultado de entrenar el modelo, es decir, ya se encontraba listo para poder realizar predicciones de imágenes.

- Evaluación de imágenes e interpretación de resultados: se realizaron las pruebas con diferentes tipos de letras y verificar cuales son los principales factores que se encontraban para realizar una predicción correcta.

En la figura 1, se muestra el proceso que se realizado desde la recolección de imágenes hasta el proceso de realizar predicciones.

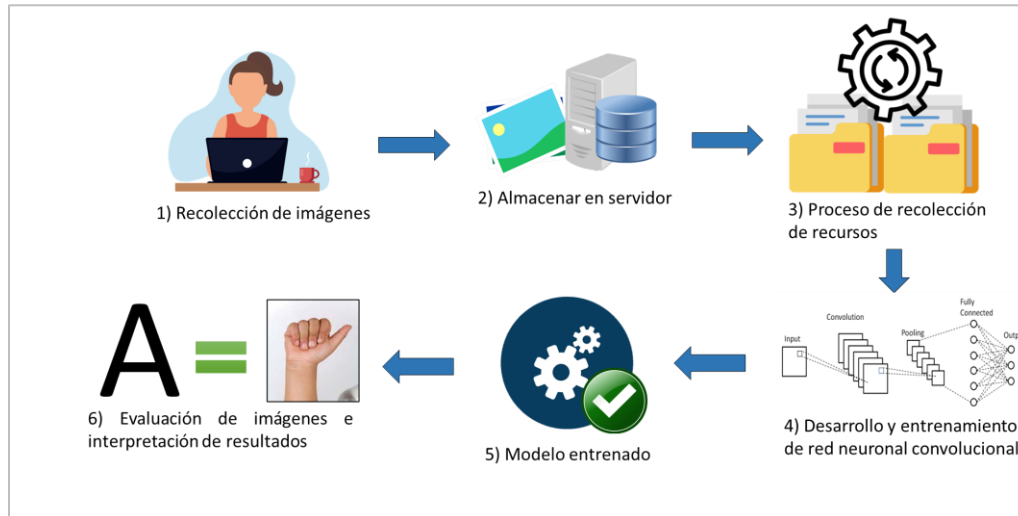


Figura 1. Metodología del entrenamiento de la red neuronal convolucional

Un punto importante para resaltar es que, al contar con pocas imágenes, se utilizó transferencia de aprendizaje. El concepto de Transfer Learning o transferencia de aprendizaje aplicado al proyecto consiste en que al no disponer de inicio de un conjunto grande de datos de imágenes asociados a letras o palabras utilizadas en el lenguaje de señas que permitiera generar un modelo más preciso a partir del entrenamiento tradicional de la red neuronal desde cero, se recurrió a una base de datos de conocimiento y a una red pre entrenada que se convirtió en el origen hacia otras tareas y capas destino de la red neuronal y lograr con ello mejorar el aprendizaje [7]. A partir de la reutilización de arquitectura que dispusiera de grandes volúmenes de datos de entrada para ser aplicados a escenarios diversos que utilizaran distintos conjuntos de datos para poder obtener clasificaciones más rápidas que requirieran de una menor carga o esfuerzo computacional [8].

Recopilación de imágenes y almacenamiento

El primer paso que se realizó en la investigación fue desarrollar una aplicación web que permitiera a los usuarios almacenar fotografías o imágenes donde se realiza una seña con las manos representando una letra del abecedario. Cuando el usuario se registra en la aplicación, se genera una carpeta donde se almacenarán las fotografías de cada uno de los caracteres que se registran en la base de datos. En la figura 2 se muestra cómo el usuario puede realizar el registro de las imágenes a través de una cámara web.

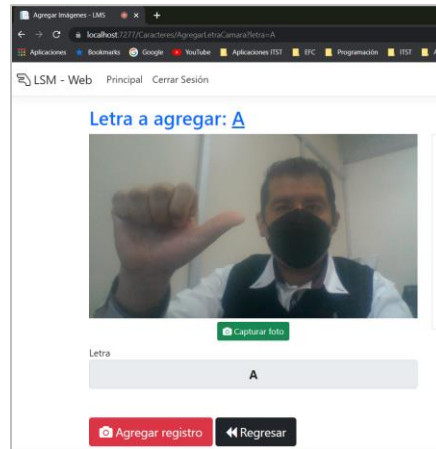


Figura 2. Almacenamiento de imágenes representando señas

También existe el método convencional el cual consiste en almacenar fotografías de diferentes fuentes (como de un celular o de internet) almacenarlo en la computadora. Esta forma es más sencilla debido a que se pueden cargar varias imágenes al mismo tiempo y a través de la cámara web solo es posible realizar el registro de una sola foto.

Proceso de recolección de recursos

Como parte del proceso de recolección a cada usuario se le crea una carpeta para almacenar todas sus fotografías. Posteriormente, se utiliza un método recursivo que permite obtener todas las imágenes y agruparlas en una carpeta por carácter para utilizarlas en el entrenamiento de la red neuronal. Este proceso facilita la recolección de información debido a que cualquier usuario puede alimentar el repositorio solo con un equipo con acceso a internet a través de un navegador web. En la figura 3 se muestra el contenedor donde se guardan cada una de las fotografías o imágenes agrupadas por caracteres.

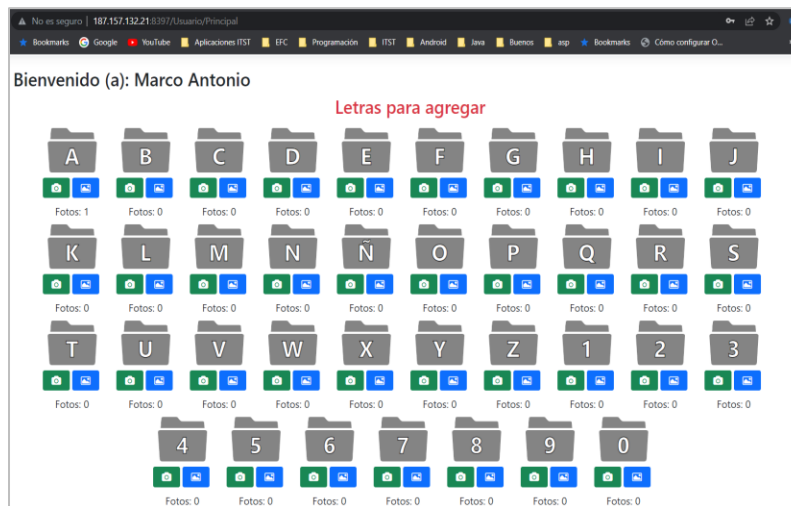


Figura 3. Repositorio web para la recolección de imágenes

Descripción del desarrollo y entrenamiento

Al finalizar el agrupamiento de imágenes, se procedió a realizar el desarrollo y entrenamiento de la red neuronal. Para este procedimiento se utilizó como lenguaje de programación Python, las herramientas de Tensorflow y Keras para el desarrollo de la red neuronal y como entorno de desarrollo al Proyecto Jupyter Notebook (por cuestiones de la gestión de archivos, no se utilizó Google Colab).

En lo que respecta al desarrollo del modelo, se utilizó MobileNet V2 que es una red neuronal convolucional desarrollada por Google que se caracteriza por tener múltiples capas y millones de parámetros entrenados con

un conjunto de datos llamado Imagenet el cual contine más de diez millones de imágenes clasificadas por categoría. Los parámetros de MobileNet permiten elegir modelos de tamaños adecuados en función del problema a resolver [9], lo cual es muy útil ya que en el proyecto que se describe se requiere una optimización con relación a la cantidad de recursos de los que se dispone y brinda también la capacidad para modificarla y adecuarla al proyecto [10].

La red MobileNet está preparada para recibir imágenes a color con un tamaño de 224x224 pixeles que genera una capa de clasificación SoftMax con mil y un neuronas. Además de las capas que tiene la red, se agregó una capa más para la clasificación de imágenes asociadas al lenguaje de señas. Esto se realiza con la finalidad de aprovechar el entrenamiento previo de la red MobileNet que no requiere de grandes volúmenes de datos o recursos informáticos y en algunos casos ya se puede utilizar directamente en las predicciones. Gracias a esta red, se logró obtener un resultado con las fotografías que habían cargado los usuarios dentro del repositorio. Finalmente, para el entrenamiento solo se entrena la última capa para la clasificación de las letras que se seleccionaron para las pruebas.

Resultados y discusión

Durante el desarrollo de esta investigación se aplicaron teorías y métodos para la extracción automática de datos contenidos en imágenes asociadas a la interpretación del lenguaje de señas mexicano. En este sentido se sabe que la visión de los seres humanos trabaja bajo un esquema de análisis, asociación y clasificación de imágenes y que la visión computacional busca replicar dicho proceso a partir del desarrollo de software y hardware avanzados [11].

Después de haber sometido todo el dataset de fotografías e ilustraciones obtenidos, en la figura 4 se muestran los resultados del entrenamiento del modelo a través de una gráfica de datos de pérdida (loss) y porcentaje de acierto (accuracy) que se obtuvieron al entrenar el modelo con un total de 50 épocas. Cabe mencionar que, por su comportamiento, no se llega a un underfit (falta de muestras para la identificación de patrones) ni tampoco a un overfit (no se generar las imágenes de manera idéntica). Posteriormente, se llevaron a cabo predicciones con diferentes imágenes para determinar las razones por las cuales no muestra un resultado correcto.

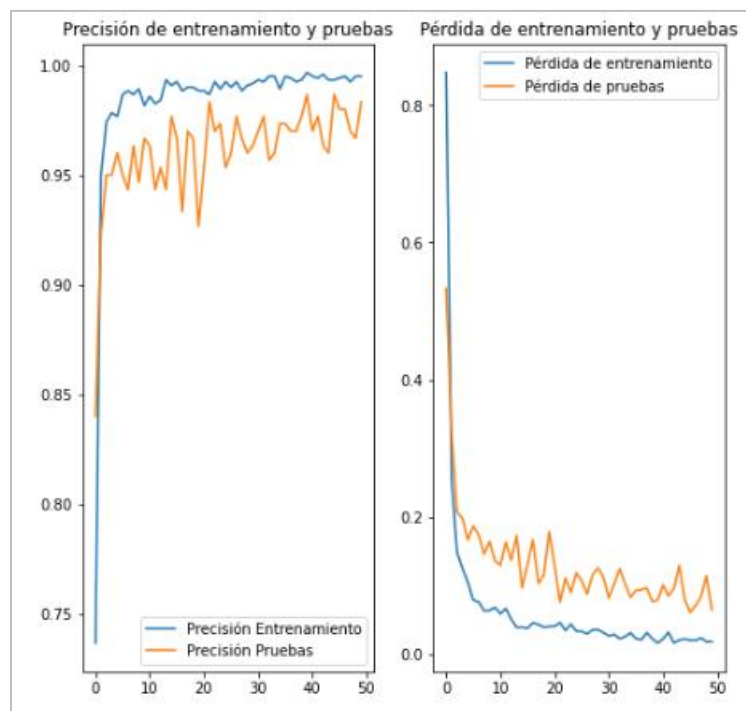


Figura 4. Resultados de precisión y pérdida del entrenamiento

Predicciones

En la figura 5 se muestran las imágenes que se utilizaron para realizar las predicciones iniciales. Las letras que se utilizaron fueron las primeras cinco del abecedario (A, B, C, D y E).

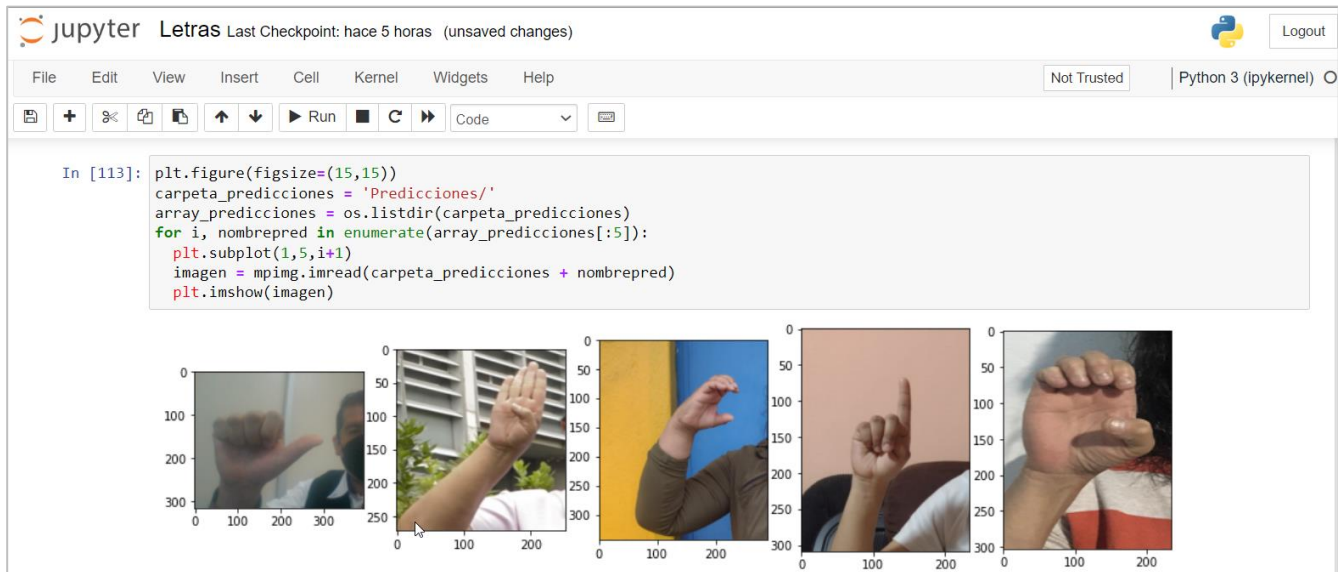


Figura 5. Imágenes seleccionadas para el primer entrenamiento

Los resultados obtenidos de las predicciones fueron un 40% acertado y un 60% no acertado, es decir, que solo dos predicciones fueron correctas (a y c) y las otras tres letras fueron incorrectas (b, d y e). Las imágenes se obtuvieron de cada uno de los usuarios que fue almacenando la información en el servidor. Posteriormente, se realizó otra predicción cambiando las letras b, d y e para tratar de identificar cuáles son las principales razones por las cuales no se identificaron. En la figura 6 se muestra el resultado de realizar la predicción de las primeras letras del abecedario.



Figura 6. Resultado de la predicción de las primeras imágenes

Después de analizar los datos, se realizaron pruebas cambiando cada una de las letras que no se identificó. A continuación, se presentan los principales cambios que se realizaron a las imágenes para obtener un resultado positivo:

- Elegir una foto donde se visualice también a la persona
- Hacer la seña alejado de la cámara.
- Realizar la seña cerca de la cámara.
- Portar una prenda en el brazo.
- Mostrar solo la seña y no el brazo.
- Fotografía con baja resolución
- Fotografía con alta resolución.
- Imagen con fondo no tan colorido.

Segunda predicción

Con respecto a la figura 7, se puede mencionar que se obtuvo un 80% de efectividad, es decir, que, de las cinco letras, solo la e se identificó como letra a.



Figura 7. Imágenes seleccionadas para una última predicción

Los resultados de la última predicción realizada con los cambios aplicados a las imágenes se pueden observar en la figura 8.

```
from PIL import Image
import cv2

plt.figure(figsize=(15,15))
carpeta_predicciones = 'Predicciones/'
array_predicciones = os.listdir(carpeta_predicciones)
for i, nombrepred in enumerate(array_predicciones[:5]):
    img = cv2.imread(carpeta_predicciones + nombrepred)
    img = cv2.resize(img,(224,224))
    prediccion = modelo.predict(img.reshape(-1, 224, 224, 3))
    resultado = nombrepred + " -> Predicción = " + str(np.argmax(prediccion[0], axis=-1))
    print(resultado)
#0 - A, 1 - B, 2 - C, 3 - D, 4 - E

1/1 [=====] - 0s 35ms/step
A.png -> Predicción = 0
1/1 [=====] - 0s 37ms/step
B.png -> Predicción = 1
1/1 [=====] - 0s 35ms/step
C.png -> Predicción = 2
1/1 [=====] - 0s 38ms/step
D.png -> Predicción = 3
1/1 [=====] - 0s 35ms/step
E.png -> Predicción = 0
```

Figura 8. Resultados de la predicción de las últimas imágenes

Después de comparar los resultados de las predicciones, se puede comentar que, si se requiere que el modelo sea más confiable, se deben tomar en cuenta las características de la imagen de la seña. Es posible que la letra E no la haya identificado por cuestiones del color de la ropa de las personas que se fotografiaron, de la calidad de la imagen o de la posición incorrecta de la imagen. Por el contrario, la letra B y D fueron interpretadas correctamente por que las cámaras que se utilizaron fueron de mayor resolución, no hay fondo y fue más cerca que las anteriores. Este tipo de recomendaciones se deben tomar en cuenta con las predicciones de las demás letras para que la red neuronal interprete correctamente las letras. También se puede comentar que la red MobileNet V2 también ayudó de manera considerable a predecir la información. Es importante que, si se desea utilizar esta misma red para la predicción de otros modelos, solo se tome en cuenta la capa que será entrenada para no alterar el modelo que ya se encuentra previamente entrenado.

Trabajo a futuro

Actualmente, se pueden realizar predicciones trabajando directamente en el código de la red neuronal, es decir, que se deben tener conocimientos de programación para realizar la evaluación de las fotografías. El siguiente paso es integrar el modelo entrando a una aplicación web o móvil para que usuarios que no sean expertos puedan utilizar la herramienta con sus familiares, amigos y conocidos que tengan una discapacidad auditiva fomentando la integración con ellos. Para lograr esto, se tomarán en cuenta tecnologías como Mediapipe, una herramienta que permite la identificación en tiempo real de la actividad de las manos. De esta forma, se trabajará con la detección de movimientos para interpretar letras como la J, K, Q, X y Z y algunas señas básicas como saludos y expresiones que requieren ademanes.

Conclusiones

En la presente investigación se muestra una manera diferente de identificar señas a través de imágenes utilizando redes neuronales convolucionales. Los resultados indican un proceso muy estricto, es decir, que se deben cumplir aspectos para que la predicción sea exacta. Es necesario que toda la información que se obtiene tanto de fuentes de internet como del repositorio sea de buena calidad. Así mismo, deben tener buena iluminación. Otro aspecto es que la mano no este pegada al cuerpo y que este bien enfocada. De esta forma, los errores serán menores a la hora de realizar una predicción y el resultado será más certero.

Como se logra apreciar, las redes neuronales convolucionales son herramientas que aportan un gran beneficio a la sociedad. Si se cuenta con un modelo bien entrenado, se pueden obtener grandes resultados. Por ejemplo, interpretar el abecedario del lenguaje de señas de una manera correcta con el objetivo de formar palabras y comprender el mensaje que quiere ser transmitido por parte de personas que tienen problemas auditivos o de habla.

La importancia de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático como parte del desarrollo y aplicación de técnicas informáticas para dotar a las computadoras de habilidades propias de la inteligencia humana [12] fueron sin duda de vital importancia para el desarrollo de este proyecto ya que a partir de su implementación se logró el reconocimiento de patrones asociados al uso del lenguaje de señas mexicano, así como a la conformación de una base de datos de derivada de un proceso de Machine Learning de señas que cuentan con una interpretación de imágenes específicas. En este caso el aprendizaje automático busca una interpretación de imágenes a partir de casos conocidos [13].

Agradecimientos

A las personas que ayudaron en la recopilación de imágenes y a los alumnos que participaron en el desarrollo del proyecto.

Referencias

- [1] INEGI, «Estadísticas a propósito del Día Internacional de las Personas con discapacidad (Datos Nacionales),» 3 Diciembre 2021. [En línea]. Available: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/EAP_PersDiscap21.pdf.

- [2] M. E. Serafín de Fleischmann y R. González Pérez, «<https://www.conapred.org.mx/>,» [En línea]. Available: https://www.conapred.org.mx/documentos_cedoc/DiccioSenas_ManosVoz_ACCSS.pdf. [Último acceso: 19 Enero 2022].
- [3] R. Russell, Machine learning: guía paso a paso para implementar algoritmos de machine learning con Python, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2018.
- [4] S. L. Brunton, B. R. Noack y P. Koumoutsakos, «Machine Learning for Fluid Mechanics,» de Annual Review of Fluid Mechanics, Annual Review, 2020, pp. 477-508.
- [5] A. Cifuentes, E. Mendoza, M. Lizcano, A. Santrich y S. Moreno trillos, «Desarrollo de una red neuronal convolucional para reconocer patrones en imágenes,» Investigación y Desarrollo en TIC, vol. 17, nº 2, p. 7, 2019.
- [6] E. Mancilla Morales, O. Vázquez Aparcio, P. Arguijo, R. Á. Meléndez Armenta y A. H. Vázquez López, «Traducción del lenguaje de señas usando visión por computadora,» Research in Computing Science, vol. 148, nº 8, pp. 79 - 89, 2019.
- [7] D. Pérez Aguilar, R. Risco Ramos y L. Casaverde Pacherez, «Transfer learning en la clasificación binaria de imágenes térmicas,» Ingenius Revista de Ciencia y Tecnología, nº 26, pp. 71-85, 2021.
- [8] T. Phan, S. Sultana y T. G. Nguyen, «Q - TRANSFER: A Novel Framework for Efficient Deep Transfer Learning in Networking,» 16 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1109/IACS.2019.8809114>. [Último acceso: 20 Febrero 2022].
- [9] A. Howard, M. Zhu, B. Chen, D. Kalenichenko, W. Wang, T. Weyand, M. Andreetto y H. Adam, «Cornell University,» 2017 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://arxiv.org/abs/1704.04861>. [Último acceso: 25 Enero 2022].
- [10] O. A. Soto Orozco, A. D. Corral Sáenz, C. E. Rojo González y J. A. Ramírez Quintana, «Análisis del desempeño de redes neuronales profundas para segmentación semántica en hardware limitado,» ReCIBE. Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica, vol. 8, nº 2, 2019.
- [11] SYNnex Westcon-Comstor, «<https://digital.la.synnex.com/>,» 2017 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://digital.la.synnex.com/que-es-la-vision-computacional>. [Último acceso: 17 Enero 2021].
- [12] E. Alpaydin, Introduction to Machine Learning, The MIT Press, 2020.
- [13] P. Harrington, Machine Learning in Action, Manning, 2017.

Nube dinámica de palabras basada en SenticNet para contexto político mexicano

K.M. Ramírez Vergara ^{1*}, L.A. Banda Peláez ², A. López Chau ³, R. Rojas Hernández ⁴, J. Bautista López ⁵

¹Universidad Autónoma del Estado de México, CU UAEM Zumpango, Zumpango, México
kramirezv003@alumno.uaemex.mx, lbandap001@alumno.uaemex.mx, alchau@uaemex.mx,
rrojashe@uaemex.mx, jbautistal@uaemex.mx

Área de participación: Sistemas Computacionales

Resumen

Una de las primeras etapas en el proceso de análisis de sentimientos, consiste en un estudio exploratorio de los documentos. La nube de palabras es una de las herramientas más usadas para la visualización resumida de estos datos. Una de las principales desventajas de las nubes de palabras comunes, es que no permiten visualizar los cambios en la polaridad de las opiniones durante el tiempo; tampoco consideran teorías emocionales para una mejor comprensión del fenómeno a estudiar. En este artículo se propone una modificación a las implementaciones actuales de nubes de palabras, con el fin de obtener una representación gráfica de la dinámica de la evolución de la frecuencia y polaridad de palabras en documentos. Estas polaridades se calculan con SenticNet. A este modelo se le denominó nube dinámica de palabras. Como caso de estudio, se aplicó al contexto político mexicano actual.

Palabras clave: Análisis de sentimientos, SenticNet, nube de palabras.

Abstract

One of the first steps in the sentiment analysis process consists of an exploratory study of the documents. The word cloud is one of the most used tools for the summarized visualization of these data. One of the main disadvantages of common word clouds is that they do not allow to visualize changes in the polarity of opinions over time; neither do they consider emotional theories for a better understanding of the phenomenon to be studied. In this paper we propose a modification to the current implementations of word clouds, to obtain a graphical representation of the dynamics of the evolution of the frequency and polarity of words in documents. These polarities are calculated with SenticNet. This model was called dynamic word cloud. As a case study, it was applied to the current Mexican political context.

Key words: Análisis de sentimientos, SenticNet, nube de palabras.

Introducción

El progreso tecnológico ha influido en la forma de pensar, interactuar y relacionar a la sociedad, ya que permiten expresar las inquietudes y las defensas de los intereses sociales. Gracias a la tecnología, se está modificando la manera en cómo se desarrolla la política y la democracia, del mismo modo, la comunicación política en redes sociales se ha convertido en un proceso dinámico, en el cual la información presentada por el gobierno hacia los ciudadanos tiene una respuesta inmediata, generando un intercambio de opiniones a favor o en contra. [6]

Las redes sociales representan una de las herramientas más utilizadas por el gobierno y por ciudadanos, permitiendo la libertad de expresión en el ámbito político, fomenta la participación al diálogo y se obtiene un análisis de las reacciones, comentarios u opiniones, con ello su compromiso político se ve mayormente obligado [1]. Las redes sociales más utilizadas actualmente son Facebook, Twitter, YouTube e Instagram; por lo que, durante un movimiento político, los ciudadanos suelen realizar comentarios en estas redes sociales para difundir su opinión, solidaridad, queja o solicitud, generando así, una gran cantidad de datos e información respecto al movimiento político. [2]

La cantidad de información generada por un evento o circunstancia en las redes sociales ha sido de interés a la comunidad científica para la extracción de información relevante y la toma de decisiones de las figuras políticas, empresas y organizaciones gubernamentales [1]. Además, la importancia del estudio de las emociones y

sentimientos juega un papel importante en comprender los fenómenos sociales y eventos políticos, donde algunas técnicas de la inteligencia artificial pueden ayudar [3].

El análisis de sentimientos es una técnica que implica el procesamiento del lenguaje natural, la aplicación de técnicas de minería de datos [4] y aprendizaje automático; este tipo de análisis consiste en extraer características a partir de textos, audios y/o videos; que permitan clasificar los datos en categorías como “positivo”, “negativo”, o “neutral”. En los últimos años se ha trabajado bastante en el análisis de sentimientos con datos recolectados en Twitter, lo que ha permitido el desarrollo de investigaciones sobre temas internacionales y políticos que tienen un impacto en la sociedad actual [5]. Existen dos principales enfoques de solución para el análisis de sentimientos, el primer enfoque está basado en recursos léxicos, ya que se requiere de un diccionario de palabras asociadas con un sentimiento o tema, este enfoque se conoce comúnmente como análisis de sentimientos basado en lexicón. El segundo enfoque es basado en el aprendizaje supervisado, es decir, se requiere de un conjunto de datos previamente etiquetados [6]

La técnica de análisis de sentimientos se utiliza para examinar los sentimientos de un usuario en base al estudio de los textos. Para analizar textos se utiliza la lingüística, teorías emocionales, métodos estadísticos y el aprendizaje automático, con la finalidad de que las máquinas encuentren patrones en el lenguaje humano y puedan entender el significado del texto.[7] Los métodos de análisis de sentimientos utilizan lexicones, un lexicón se puede definir como un conjunto de palabras que tiene como objetivo obtener de cada elemento una etiqueta que indica el grado de orientación semántica o polaridad, ya sea positiva o negativa [6]. Las palabras de un lexicón pueden ser divididas en dos categorías, tipo base y tipo comparativo. Las de tipo comparativo se utilizan para aquellas opiniones que son comparativas y superlativas, por ejemplo, las palabras “más que”, “a diferencia de”, “mejor”, “peor”, “vencer”, etc. Mientras que las palabras de tipo base son clasificadas mediante una polaridad. Uno de los recursos léxicos que se ocupan para obtener la base de la polaridad de las palabras es SenticNet. Este recurso léxico, semántico y afectivo de acceso público para el análisis de opiniones y sentimientos a nivel de concepto, es capaz de asociar polaridad e información afectiva también a conceptos complejos. SenticNet asigna una puntuación de sentimiento en un rango entre -1 y 1, para 14,000 conceptos de sentido común. Este marco de trabajo se construye mediante la computación semántica, un paradigma que explota tanto las técnicas de inteligencia artificial, como las técnicas de la web semántica para procesar las opiniones en lenguaje natural [8]

Una de las primeras etapas en el proceso de análisis de sentimientos, consiste en un estudio exploratorio de los documentos, para lo cual la nube de palabras es una de las herramientas más comúnmente usadas. En una nube de palabras, la información suele presentarse a modo de figura abstracta, en la que las palabras con mayor frecuencia son representadas de un mayor tamaño.[9] La principal limitación de estas nubes es que no permiten visualizar los cambios en la polaridad de las opiniones durante el tiempo; tampoco consideran teorías emocionales para una mejor comprensión del fenómeno o evento a estudiar.

En este artículo, se presenta el concepto, implementación y aplicación una nube de palabras para visualizar de forma dinámica (respecto al tiempo), la frecuencia de las palabras en el ámbito político, considerando las polaridades de acuerdo con el modelo sentimental de SenticNet.

El resto del artículo está estructurado como se indica a continuación. En la primera sección se introducen las definiciones principales sobre la nube dinámica de palabras. En la segunda sección se presentan los materiales y métodos empleados para recolectar y procesar datos, así como los cálculos para la creación de una nube dinámica de palabras. En la tercera sección se muestra la aplicación del enfoque propuesto para publicaciones en Twitter sobre el contexto político mexicano. En la sección final se describe las conclusiones y futuras investigaciones.

Consideraciones

Se presentan las siguientes definiciones relacionadas con el desarrollo de este trabajo:

- **C**: Conjunto de documentos sobre algún tema (corpus).
- **S**: Subconjunto de documentos que pertenecen al corpus.
- **S'**: Conjunto de palabras perteneciente a **S**. Este conjunto se obtiene de pre-procesar los documentos existentes en **S**.

- **Nube de palabras $N(C')$** : Es una representación gráfica de la frecuencia de uso de cada palabra en un documento d . El tamaño de una palabra es proporcional al número de veces que se repite la misma en el conjunto C'
- **Documento fechado d_t** : Es un documento (texto) que ha sido publicado en cierto instante t . En este tipo de documentos, tanto el tiempo (fecha y hora) de publicación como el contenido, son características muy importantes. Las publicaciones en redes sociales (como Facebook) y en servicios de microblogging (como Twitter) son ejemplos de este tipo de documentos.
- **Nube de palabras de documentos fechados $N_{t_1}^{t_2}(S')$** : Es una nube de palabras construida a partir de un conjunto de documentos fechados entre un tiempo inicial t_1 y un tiempo final t_2

Basado en las anteriores definiciones, se presentan ahora las siguientes:

- **Nube dinámica de palabras $ND_{ta}^{tb}(C') = \{N_{t_a}^{t_{a+1}}(S'), N_{t_{a+1}}^{t_{a+2}}(S'), \dots, N_{t_{b-1}}^{t_b}(S')\}$** : Es una sucesión de nubes de palabras de documentos fechados. Esta nube permite visualizar la evolución temporal de las frecuencias de uso de las palabras en documentos fechados.
- **Nube dinámica de palabras basada en SenticNet $NDSenticNet_{ta}^{tb}(S')$** : Es una nube dinámica de palabras en la cual las frecuencias calculadas son ponderadas con las correspondientes puntuaciones de polaridad.

Metodología

Materiales

Se utilizó el API Rest que proporciona Twitter cuando se genera una cuenta como desarrollador, para permitir el acceso al núcleo de datos y acceder a los tweets recientes. Así mismo, se utilizó la biblioteca Tweepy que contiene la interfaz Cursor para iterar a través de distintos tipos de objetos (usualmente representados como objetos JSON). [4] Para el desarrollo del artículo, se utilizó SenticNet, con el objetivo de inferir la polaridad de las opiniones. SenticNet consta de un extractor de conceptos y de una biblioteca con hasta 14,000 conceptos clasificados según su positividad o negatividad, el resultado es un número flotante entre -1 y +1 (donde -1 es negatividad extrema y +1 es positividad extrema) [9]

A partir de la lista de palabras clave: ['amlo', 'EIPeorPresidenteDeLaHistoria', 'LopezBasuraPresidencial', 'obrador', 'FuerzaPresidente', '4taTransformación', 'AMLOVE', 'elcacasobrador', '4T', 'Nacional', 'AmloElFracasoPresidencial', 'EIPeorGobiernoDeLaHistoria'] se han descargado 137,801 tweets del 28/06/2022 al 11/07/2022. Finalmente, en la recopilación de los datos, se obtuvo la información presentada en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de Tweets recopilados por cada palabra clave. Fuente: Elaboración propia.

Palabra clave	Tweets recolectados
amlo	41,910
EIPeorPresidenteDeLaHistoria	4,757
LopezBasuraPresidencial	1,230
obrador	14,355
FuerzaPresidente	12
4taTransformación	147
AMLOVE	129
elcacasobrador	847
4T	39,504
Nacional	26,262
AmloElFracasoPresidencial	3,891
EIPeorGobiernoDeLaHistoria	4,757
TOTAL	137,801

Métodos

La Figura 1 muestra un resumen gráfico de la metodología empleada, misma que a continuación se explica detalladamente.

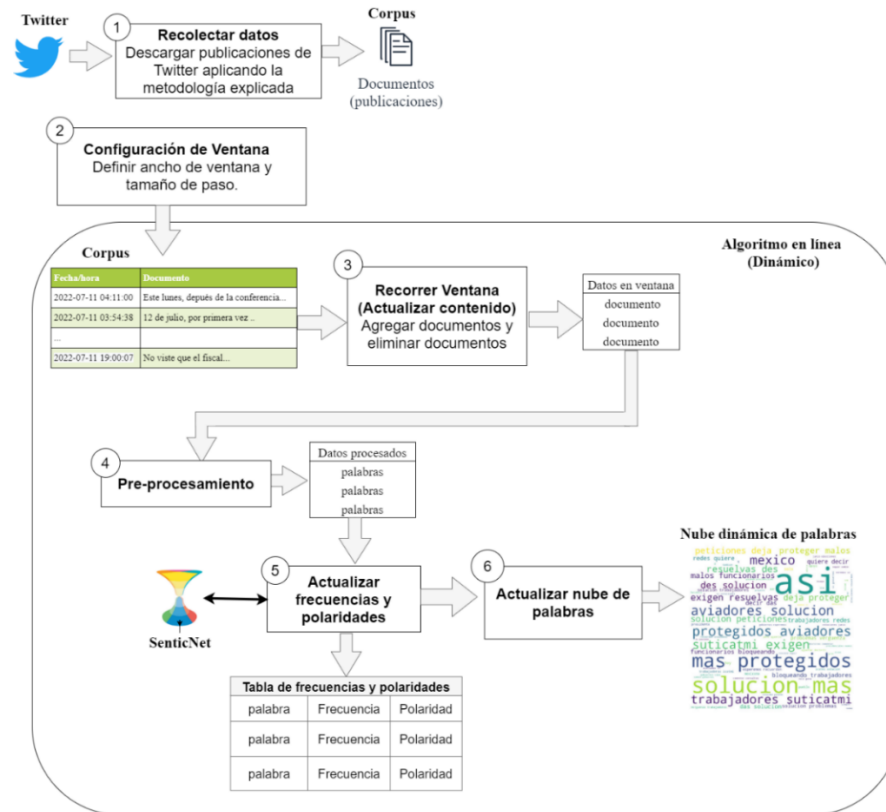


Figura 1. Resumen de la metodología aplicada. Fuente: Elaboración propia

Primer paso: Recolección de datos

La recolección de datos es una de las etapas más importantes de la metodología para la creación de la nube dinámica de palabras, el tema y los criterios de búsqueda dependerán del fenómeno que se desea estudiar [5], para el artículo, se eligió el contexto político mexicano actual, debido a las próximas elecciones en 2023. Se utilizó la biblioteca Tweepy, una de las bibliotecas para Python más populares para descargar documentos de Twitter.

Para realizar la colección de datos, se propone el siguiente proceso:

1. Comenzar con una lista de términos de búsqueda (hashtags y usuarios) relacionados con el tema, especificando el periodo y el lugar para recolectar datos.
2. Buscar para cada elemento de la lista en Twitter y descargar los documentos.
3. Aplicar un muestreo aleatorio simple a los documentos para elegir el tamaño adecuado del subconjunto. El tamaño del muestreo se calcula con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{n}{1 + \frac{z^2 p(1-p)}{\epsilon^2 N}}$$

Donde:

- $n = \frac{z^2 p(1-p)}{\epsilon^2}$
- $z = 1.644854$
- P : porción de población ($P = 0.6$)

- ε : margen error ($\varepsilon = 10\%$)
 - N = tamaño de población (número de tweets descargados)
4. Leer los tweets de la muestra y seleccionar aquellos que sean relevantes para el estudio.
 5. Agregar a la lista las menciones y hashtags que aparecen en los archivos seleccionados, y que aún no están en la lista.
 6. Repetir los pasos del 2 al 5 tres veces.
 7. Usar la lista ampliada de hashtags y usuarios creada anteriormente para encontrar datos relevantes y descargue los documentos. Este conjunto de documentos se le denomina *Corpus*.

Las descargas de documentos con biblioteca Tweepy incluyen, además del texto, la fecha y la hora de la publicación, entre otros atributos.

Segundo paso: Configuración de la ventana

Con el objetivo de observar la evolución de la frecuencia de uso de palabras en el corpus y su polaridad, se propone generar nubes de palabras sucesivas a partir de subconjuntos del corpus. Cada subconjunto contiene documentos publicados entre dos tiempos (fecha y hora), a los que llamaremos t_a y t_b , donde:

- t_a tiempo de inicio de ventana: Los documentos publicados a partir del tiempo t_a y hasta t_b son considerados para generar la nube de palabras.
- t_b tiempo de fin de ventana: Los documentos publicados hasta el tiempo t_b pero desde t_a son considerados para generar la nube de palabras.

El ancho de ventana se define como:

$$W = |t_b - t_a|$$

Dado un corpus con la estructura siguiente:

$$C = \{(t_i, d_i): t_i \text{ tiempo}, d_i \text{ texto}, i = 1, \dots, N\}$$

El subconjunto $S_m \subseteq C$, es el conjunto de documentos que pertenecen a la ventana m , está definido como:

$$S_m = \{d_i: d_i \in C, t_a \leq t_i \leq t_b\} \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

Donde:

$$t_a = t_{1+m \times \text{step}}$$

$$t_b = t_a + W$$

$$\text{step} \subseteq \mathbb{Z}^+: \text{desplazamiento de la ventana en el tiempo}$$

Los parámetros W y step son valores que se configuran manualmente por el usuario y deben de cumplir con la condición:

$$W > \text{step}$$

Tercer paso: Recorrer o desplazar la ventana

Una vez establecido el ancho de la ventana (W) y el tamaño del paso (step), se comienza con un proceso en línea de actualización de frecuencias de palabras y sus polaridades, con los elementos del conjunto actual S_m . Este último se genera cuando la ventana avanza (o retrocede) un paso. La Figura 2 ejemplifica el desplazamiento de la ventana en un paso.

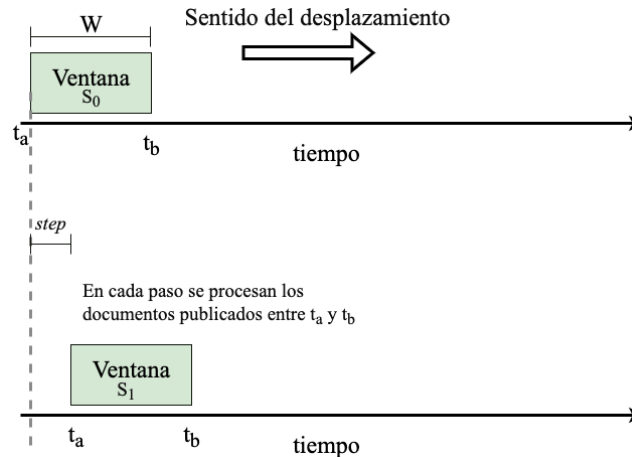


Figura 2. Desplazamiento de ventana. Fuente: Elaboración propia.

La idea es similar a una ventana que se desliza hacia los lados para permitir la entrada de documentos y rechazar los que ya han sido utilizados en la nube dinámica de palabras. El uso de una ventana deslizante garantiza que la nube de palabras sea vista a través del tiempo, es decir, visualizar gráficamente el análisis de sentimientos a través del tiempo.

Cuarto paso: Pre-procesamiento de documentos (textos)

El procesamiento de documentos consiste fundamentalmente en una serie de transformaciones que se realiza al documento (texto), con el objetivo de obtener datos uniformes y sin elementos que puedan afectar a la calidad de los resultados. De manera general, para el procesamiento de análisis de opiniones se eliminaron los números, acentos, símbolos, signos de puntuación y cadenas que contienen un URLs, usuarios y/o hashtags.[10]

Para cada documento fechado (d_t) del subconjunto S_m se realiza lo siguiente:

1. Eliminar caracteres especiales: Considerando que P es un conjunto de caracteres especiales $P = \{ | , " , ' , \$, \% , \& , / , (,) , = , ? , \grave{c} , * , - , + , : , ; , _ , < , > , [,] , \backslash , ^ , \textcircled{c} , \textcircled{r} , \sim , c \}$, se realiza la operación mostrada en la ecuación (1)

$$d'_t = d_t - P \text{ --- (1)}$$

Donde:

d'_t : es el documento sin símbolos especiales.

2. Tokenizar: Se utiliza para dividir una frase en palabras, frases, símbolos u otros tokens significativos mediante la eliminación de los signos de puntuación [9], por lo que el documento modificado d'_t se separa cómo se observa en la ecuación (2)

$$T_{d'_t} = \{ \langle \text{palabra} \rangle_1 , \langle \text{palabra} \rangle_2 , \dots , \langle \text{palabra} \rangle_k \} \text{ --- (2)}$$

Donde:

$T_{d'_t}$: Conjunto de palabras o también llamado conjunto de tokens

3. Eliminación de palabras: Consiste en remover las palabras que son usuarios, hashtags, urls, y palabras vacías (*stopwords* en inglés). Las palabras vacías son aquellas palabras de uso común que no contribuyen de manera significativa en el texto. Dichas palabras se eliminan del conjunto de palabras antes del procesamiento ya que no son necesarias posteriormente. El conjunto de palabras es modificado como se muestra en la ecuación (3):

$$R_{d'_t} = (T_{d'_t} - U) \cup (T_{d'_t} - H) \cup (T_{d'_t} - Y) \text{ --- (3)}$$

Donde:

$R_{a'_t}$: conjunto de palabras relevantes
 $U = \{u \mid u \in \text{usuarios}\}$
 $H = \{h \mid h \in \text{hashtags}\}$
 $Y = \{y \mid y \in \text{stopwords}\}$

Finalmente, al conjunto de palabras del S_m , es expresado como se muestra en la ecuación (4):

$$S_m' = \left\{ \left(R_{a'_t} \right) \mid_{i=1}^N R_{a'_t} \in C \right\} \text{--- (4)}$$

Es importante mencionar que los documentos que se encuentran en la ventana (W) deben de pasar por un pre-procesamiento. Ya que cuando los documentos del subconjunto S_m sean pre-procesados, se obtendrá un conjunto de palabras S_m' . Este conjunto se utilizará posteriormente para la creación de las nubes de palabras.

Quinto paso: Actualización de frecuencias y polaridades

Consiste en obtener de cada palabra del conjunto S_m' una frecuencia y una polaridad, es decir, obtener una estructura numérica de la palabra para que posteriormente con dicha información el algoritmo pueda comprender y generar nubes de palabras de acuerdo con las emociones del modelo de SenticNet.

En este proceso existen tres aspectos a considerar:

1. Para generar las nubes de palabras emocionales solo se consideran las palabras que cuentan con una emoción proporcionada por SenticNet, por lo que inicialmente el conjunto S_m' es reducido.
2. Si $m = 0$ en el conjunto S_m' :
Se obtienen todas las frecuencias y polaridades del conjunto S_m'
3. Si $m \neq 0$ en el conjunto S_m' :
Se actualizan las frecuencias y polaridades del conjunto S_m'

Para el cálculo de las polaridades se utilizó la propiedad '*polarity_value*' del concepto de la palabra que proporciona SenticNet, este valor va de -1 a 1, siendo los valores negativos una polaridad negativa y los valores positivos una polaridad positiva. Así mismo, el cálculo de las frecuencias absolutas da información acerca de las veces que se repite una palabra en la ventana actual (S_m').

Sea:

$$E = \{e \mid e \in \text{modelo sentimental de SenticNet}\}$$

Para cada e^i se obtiene un conjunto de tuplas, que contendrán la información respectiva de las palabras ubicadas en la ventana m , su estructura es la siguiente (ecuación (5)):

$$D_i(W) = \left\{ \left(w_j^i, f_j^i, p_j^i \right) \in e^i \right\} \text{--- (5)}$$

Donde:

W : ancho de la ventana

e^i : sentimiento i -esimo del conjunto E

w_j^i : palabra j de la ventana m correspondiente al sentimiento e^i

p_j^i : polaridad asignada a la palabra w_j^i de la ventana m correspondiente al sentimiento e^i

f_j^i : frecuencia asignada a la palabra w_j^i de la ventana m correspondiente al sentimiento e^i

Conforme transcurre el tiempo, la ventana m va incrementando, por lo que las frecuencias y las polaridades de $D_i(W)$ se deben actualizar, es decir, existirán palabras que serán removidas o añadidas a la ventana. La figura 3 ejemplifica esta actualización.

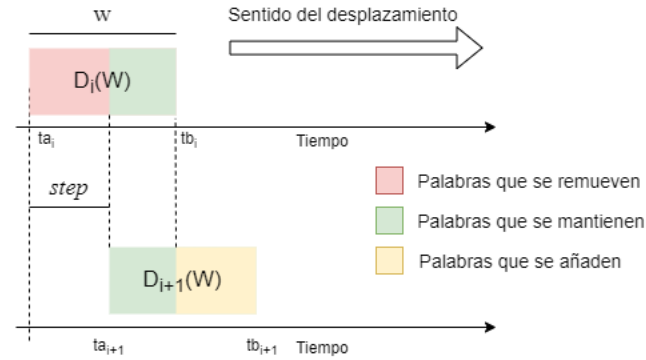


Figura 3. Actualización de palabras. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 3, las palabras w_j^i del conjunto $D_i(W)$ que se encuentran entre el periodo $|ta_{i+1} - ta_i|$ son las palabras que serán removidas de la ventana m . Por lo que las frecuencias de dichas palabras son disminuidas; matemáticamente se expresa:

$$f_2 = f_1 - k$$

Donde:

k : número de veces que se repite w_j^i en el periodo $|ta_{i+1} - ta_i|$

$f_2: f_j^i \in D_{i+1}(W)$

$f_1: f_j^i \in D_i(W)$

Posteriormente de remover las frecuencias, se debe verificar si alguna palabra w_j^i tiene una frecuencia igual a 0 ($f_j^i = 0$), si es el caso, la tupla (w_j^i, f_j^i, p_j^i) será totalmente removida del conjunto $D_{i+1}(W)$. De igual manera, las palabras w_j^i del conjunto $D_i(W)$ que se encuentran entre el periodo $|tb_{i+1} - tb_i|$ son las palabras que serán añadidas de la ventana m . Por lo que las frecuencias de dichas palabras son aumentadas; matemáticamente se expresa:

$$f_2 = f_1 + k$$

Donde:

k : número de veces que se repite w_j^i en el periodo $|ta_{i+1} - ta_i|$

$f_2: f_j^i \in D_{i+1}(W)$

$f_1: f_j^i \in D_i(W)$

Considérese que para cada palabra nueva w_j^i en $D_{i+1}(W)$, se debe calcular su polaridad.

Sexto paso: Actualizar la nube de palabras

Una vez obtenido el conjunto $D_i(W)$, cada frecuencia f_j^i para w_j^i será ponderada con su polaridad p_j^i , siguiendo la ecuación (6). El objetivo es ponderar la frecuencia de w_j^i con la intensidad emocional de la palabra para obtener una representación visual tanto en frecuencia como en polaridad.

$$fit(w_j^i) = |p_j^i| * f_j^i \quad \text{--- (6)}$$

Al final del cálculo de las ponderaciones se obtiene un conjunto de valores con la siguiente estructura:

$$FIT_i(D_i(W)) = \{(w_j^i, fit(w_j^i)) \in e^i\}$$

Donde:

$D_i(W)$: conjunto de tuplas de la ventana m correspondiente al sentimiento e^i

w_j^i : palabra j de la ventana m correspondiente al sentimiento e^i
 $fit(w_j^i)$: peso asignado a la palabra w_j^i

Finalmente, se utilizó la biblioteca wordcloud de Python para la creación de las nubes de palabras emocionales, indicando el color de las palabras basado en base el "Hourglass of emotions" de SenticNet, con los resultados de $FIT_i(D_i(W))$. Los sentimientos utilizados son la confianza (+), el miedo (-), la negatividad (-), tristeza (-), ira (-), sorpresa (+), positivo (+), asco (-), alegría (+) y anticipación (+). En este conjunto, los símbolos "-" y "+" se refieren a la polaridad negativa y positiva, respectivamente [11].

Resultados y discusión

Como ejemplo de la aplicación de la metodología explicada en este artículo, se utilizaron datos del contexto político mexicano actual. Para los resultados se descargó un corpus que corresponde a cada tendencia identificada en el contexto político, estas tendencias son: #4T, #4taTransformación, #amlo, #AmloElFracasoPresidencial, #AMLOVE, #FuerzaPresidente, #elcacasobrador, #ElPeorGobiernoDeLaHistoria, #ElPeorPresidenteDeLaHistoria, #LopezBasuraPresidencial, #Nacional y #obrador.

Para el análisis exploratorio de los corpus recolectados, se realizaron algunas tareas básicas de análisis de sentimientos con ayuda de SenticNet. Se calculó la polaridad de sentimiento en un rango de [-1,1], de esta manera se puede visualizar una distribución de las palabras según sus valores de frecuencia y polaridad.

El corpus con el que se realizó la nube dinámica de palabras es el conjunto de datos de la tendencia #amlo, cuyos parámetros a especificar fueron el tamaño de la ventana con 4 días y el paso de la ventana con 2 días. En total se generaron 4 evoluciones donde se identificaron 8 emociones: {#anger, #calmness, #disgust, #eagerness, #fear, #joy, #pleasantness, #sadness}. En la figura 4, se muestran algunas nubes de palabras emocionales correspondientes a cada evolución.

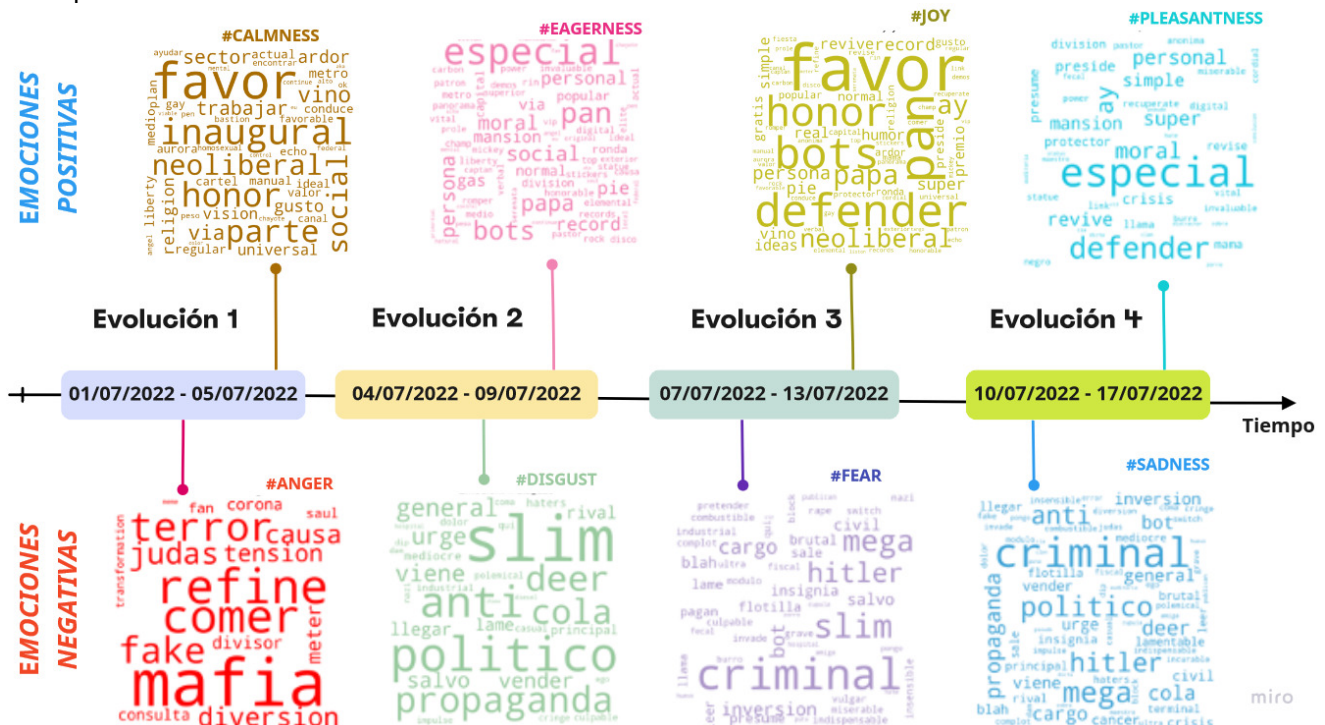


Figura 4. Nube dinámica de palabras basada en SenticNet. Fuente: Elaboración propia.

Con base en los resultados, se puede observar que, al hablar de política, se encuentran palabras negativas asociadas que predominan en la nube dinámica de palabras, como mafia, terror, judas, tensión, criminal y Hitler; igualmente las palabras positivas que predominan son: favor, especial, honor, neoliberal y especial. Se observa que en la nube de palabras de la emoción #calmness existe más palabras asociadas a este sentimiento, con respecto al resto de nube de palabras emocionales.

Para una interpretación más profunda de los resultados que se obtienen mediante la nube dinámica de palabras, se sugiere una colaboración interdisciplinaria con sociólogos, politólogos y expertos de las áreas de las ciencias

sociales. Lo anterior queda fuera del alcance de este artículo, ya que su principal objetivo es presentar la propuesta de diseño e implementación de la nube dinámica de palabras basada en SenticNet.

Trabajos futuros

Se continuarán explorando más técnicas para el análisis de sentimientos, con el fin de implementarlas en la nube dinámica de palabras. Por ejemplo, análisis automático de sarcasmos, negación simple o doble y análisis de los discursos de doble sentido, con el fin de complementar la representación gráfica de la evolución de las palabras y emociones a través del tiempo. Además, se contempla incorporar un análisis exploratorio a los datos con otras técnicas estadísticas.

Conclusiones

El análisis de sentimientos se ha convertido en la actualidad en uno de los campos más estudiados, debido a la importancia del estudio de las emociones y sentimientos, para la comprensión de un fenómeno social o evento político. En este artículo, se presenta la propuesta de una nube dinámica de palabras basada en SenticNet. Así mismo, se mostró una metodología formal para la recolección de datos, y para la creación de nubes dinámicas de palabras con polaridad emocional. Las metodologías expuestas pueden servir como una herramienta tecnológica para visualizar las polaridades de documentos publicados en redes sociales de una manera novedosa, igualmente ayudan a lograr una mejor comprensión de la realidad actual en beneficio a la sociedad.

Bibliografía

- [1] Jorge Youseth Herrera Aguilar and José Antonio O´Quinn Parrales, “El papel de las redes sociales en la gestión de un gobierno independiente: La comunicación política a través de Facebook del gobierno de Jaime Rodríguez Calderón,” 2020.
- [2] P. de Fin, D. E. Grado, D. M. Burgos, G. Bello Orgaz, and J. De, “Análisis de la polarización del discurso de comunidades en redes sociales y blogs.”
- [3] D. Valle-Cruz, A. Lopez-Chau, and R. Sandoval-Almazan, “How much do Twitter posts affect voters? Analysis of the multi-emotional charge with affective computing in political campaigns,” in ACM International Conference Proceeding Series, Jun. 2021, pp. 1–14. doi: 10.1145/3463677.3463698.
- [4] Pech May Fernando, “Minería de datos en Twitter con Python,” pp. 1–11, 2019.
- [5] A. López-Chau, R. Sandoval-Almazan, D. Valle-Cruz, and J. Ignacio Criado, “Analyzing polarization through social media with artificial intelligence: The mexican presidential election in 2018,” in ACM International Conference Proceeding Series, Jun. 2019, pp. 502–503. doi: 10.1145/3325112.3328214.
- [6] A. H. Ambrocio, G. Ramírez De La Rosa, and V. Tello, “Un método para el análisis de sentimientos bajo un enfoque supervisado usando recursos léxicos A Sentiment Analysis Method using a Supervised Approach based on Lexical Resources,” 2018. [Online]. Available: <https://www.socialbakers.com/statistics/facebook/>
- [7] A. López Chau, D. Valle-Cruz, and R. Sandoval-Almazán, “Sentiment Analysis in Crisis Situations for Better Connected Government,” 2020, pp. 162–181. doi: 10.4018/978-1-7998-4570-6.ch008.
- [8] R. S. Jagdale, V. S. Shirsat, and S. N. Deshmukh, “International Journal of Computer Science and Mobile Computing Sentiment Analysis of Events from Twitter Using Open Source Tool,” 2016. [Online]. Available: <http://grouplens.org/datasets/movieLens/>
- [9] Luque Sanchez María Alejandra and Cortés Diaz Luis Felipe, “Análisis etiquetado de textos para predicción de la polaridad, enfoque semi supervisado y etiquetado automático,” pp. 1–44, 2020.
- [10] A. López-Chau, D. Valle-Cruz, and R. Sandoval-Almazán, “Sentiment Analysis of Twitter Data Through Machine Learning Techniques,” 2020, pp. 185–209. doi: 10.1007/978-3-030-33624-0_8.
- [11] D. Valle-Cruz, V. Fernandez-Cortez, A. López-Chau, and R. Sandoval-Almazán, “Does Twitter Affect Stock Market Decisions? Financial Sentiment Analysis During Pandemics: A Comparative Study of the H1N1 and the COVID-19 Periods,” *Cognitive Computation*, vol. 14, no. 1, pp. 372–387, Jan. 2022, doi: 10.1007/s12559-021-09819-8.

Aplicación móvil para el monitoreo de actividades físicas en estudiantes de educación primaria.

Luis Alberto León Bañuelos ^{1*}, Gabriela González Vázquez ¹, Jorge Vargas Ortiz ¹, Hortencia Alejandra Bastida González ¹, Anabel Díaz Bernal ¹

¹Tecnológico Nacional de México / TES de Valle de Bravo, Estado de México, 51200, México
luis.lb@vbravo.tecnm.mx*, gabriela.gv@vbravo.tecnm.mx*, l201907049@vbravo.tecnm.mx,
l201907047@vbravo.tecnm.mx, bigagv@hotmail.com

Área de participación: *Sistemas Computacionales*

Resumen

Durante el siglo XXI se ha identificado que uno de los problemas más graves de salud pública es la obesidad infantil. Este problema ha aumentado progresivamente convirtiéndose en una situación de alcance mundial que ha afectado drásticamente diversos países, principalmente a aquellos cuyo nivel socioeconómico es menor, sobre todo en provincias urbanas. Cabe mencionar que esta situación ha desarrollado una cifra creciente de afectados, además de preverse que en el último quinquenio cerca de 41 millones de niños menores de cinco años en todo el mundo tenían sobrepeso o eran obesos. Por lo cual el presente proyecto desarrolla una propuesta mediante una aplicación móvil implementando el framework IONIC, haciendo uso de un programa orientado a proponer estrategias mediante el desarrollo de módulos con materiales de apoyo teniendo como objetivo el fortalecer los hábitos de activación física mejorando el estado físico y de salud de los estudiantes de educación primaria.

Palabras clave: *Obesidad, Activación Física, IMC, Hábitos alimentarios.*

Abstract

During the 21st century, it has been identified that one of the most serious public health problems is childhood obesity. This problem has progressively increased becoming a global situation that has drastically affected several countries, mainly those whose socioeconomic level is lower, especially in urban provinces. It is worth mentioning that this situation has developed a growing number of affected people, in addition to forecasting that in the last five years about 41 million children under the age of five throughout the world were overweight or obese. Therefore, this project develops a proposal through a mobile application implementing the IONIC framework, using a program aimed at proposing strategies through the development of modules with support materials with the objective of strengthening physical activation habits by improving physical condition. and health of primary school students.

Key words: *Obesity, Physical Activity, BMI, Feeding habits.*

Introducción

En las últimas cuatro décadas la cantidad de niños y adolescentes en un intervalo de edad entre 5 y 19 años que padecen de obesidad se ha visto elevada de forma exponencial [1] [2] [3] [4]. De acuerdo con la investigación realizada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por el Imperial College de Londres, se establece que, si la situación relacionada con la obesidad se mantiene al mismo ritmo, para un futuro no muy lejano se reflejara una cantidad mayoritaria de obesidad infantil y adolescente en comparación con la desnutrición u algún otro padecimiento [3] [5].

En México el aumento en la obesidad infantil y adolescente se desarrolla y prevalece durante el periodo de educación primaria; al iniciar su educación en dicha etapa, los niños (en una edad promedio de 6 a 7 años) presentan un valor porcentual del 24,3% de la población que padece sobrepeso u obesidad [6]. No obstante, al finalizar con la etapa de educación primaria (12 años), tienden a aumentar la prevalencia de sobrepeso y obesidad, mostrando un valor porcentual del 32,5% lo cual permite identificar que el incremento es del 12,2% en un transcurso de 6 años. Para el caso de adolescentes se mantienen porcentajes altos: en mujeres del 39,2%, y en varones del 33,5% [7].

Es cada vez más evidente que con la llegada de la pandemia de COVID-19 se presentan situaciones complicadas que se han vivido en los últimos años, lo cual impulsó a la población a tomar medidas de confinamiento en general.

Dichas acciones afectaron de manera drástica el bienestar mundial y con ello la nutrición infantil [8]. Se percibe que alrededor de 370 millones de niños a escala mundial se vieron afectados por la reducción del acceso a comidas escolares esenciales para su desarrollo, debido al confinamiento por contingencia sanitaria [9] [10]. Cabe destacar que la cantidad y la calidad nutrimental de la comida que reciben niños y adolescentes disminuyó gradualmente con la llegada de la pandemia [8] [9] [11]. De acuerdo con estudios realizados por la UNICEF, indica que en el primer periodo de la pandemia COVID-19, los países de medianos y bajos ingresos tuvieron una recesión del 30% de los servicios esenciales para una buena alimentación [12].

Alrededor de un 30% de los niños que solían realizar una rutina regular de activación física, previo a la pandemia, se vieron en la necesidad de abandonar sus actividades, asimismo, preocupantemente aumentaron de manera notable las horas frente a la pantalla de los dispositivos a su alcance [13]. Como estrategia ante la aparición de la pandemia, las autoridades se dieron a la tarea de recomendar a las familias evitar el uso excesivo de dispositivos electrónicos debido a las afectaciones visuales, creativas, de postura, sociales y de comunicación, sin embargo; irónicamente las tecnologías de la información y los dispositivos electrónicos actuaron como una parte esencial para conservar la escolaridad y la sociabilidad [14].

En relación con las estimaciones más recientes sobre la obesidad infantil, la Organización Mundial de la Salud (OMS), emite un plan de aplicación para dar fin a este problema. El plan propone a los países guías claras de medidas poderosas y eficaces para frenar lo más pronto posible el aumento en niños y adolescentes [4]. Asimismo, la OMS brinda directrices que solicitan a los trabajadores sanitarios de mayor conocimiento y de primera línea que perciban y atiendan de manera constante a los niños con sobrepeso u obesidad, reduciendo el consumo de alimentos con alto contenido calórico y bajo valor nutricional [15]. Al igual es necesario que los niños y adolescentes reduzcan el tiempo de ocio a actividades sedentarias y que impliquen el uso de pantallas. Por lo cual es preciso fomentar el desarrollo de actividades que impliquen la participación activa, tanto a nivel físico como mental [16].

Es importante establecer medidas que impulsen el desarrollo de buenos hábitos alimenticios y activación física, primordialmente en los niños de nivel primaria, considerando que es la etapa en la que se desenvuelve e incrementa porcentualmente el sobrepeso y la obesidad [17]. Por lo cual este proyecto tiene como objetivo desarrollar una aplicación móvil híbrida con el framework IONIC en conjunto con un programa orientado a proponer estrategias mediante el desarrollo de módulos para la aplicación de encuestas, generación de reportes de actividades realizadas y proveer materiales de apoyo para fomentar los hábitos de alimentación balanceada y de activación física para los padres y tutores de los estudiantes, así mismo que permita llevar un seguimiento del cumplimiento del progreso de programa encomendada.

Metodología

La metodología fue implementada en dos fases: la primera haciendo énfasis al diseño del instrumento de recolección de datos y la segunda con enfoque al diseño de la aplicación móvil, como se muestra en la Figura 1.

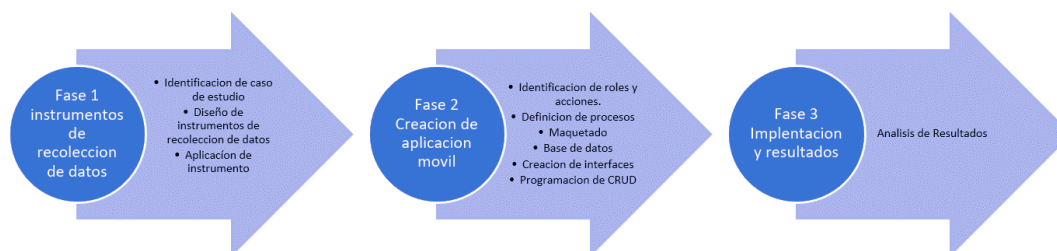


Figura 1. Estructura general de la metodología.

Caso de estudio

Se tomó la Escuela primaria José María Morelos y Pavón ubicada en la comunidad de San Gabriel Ixtla, municipio de Valle de Bravo, Estado de México. La institución maneja el turno matutino con un total de 263 alumnos, 14 elementos de personal y 12 grupos. El cálculo de la muestra se generó a través de la herramienta NETQUEST, se ingresó el tamaño del universo, la medida regular de heterogeneidad, el margen de error y por último el nivel de confianza (ver Figura 2) [18].

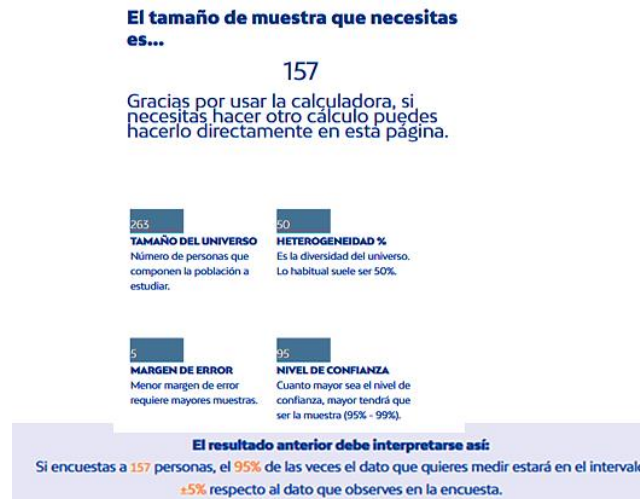


Figura 2. Cálculo de la muestra.

Se desarrolló un instrumento de recolección de datos (ver Figura 3) a través de preguntas politómicas basado en escala de LIKERT de 4 opciones, con el objetivo de conocer los hábitos alimenticios y de actividad física en estudiantes de educación primaria [19].

Encuesta de salud alimentaria y física

Objetivo: Desarrollar una aplicación móvil utilizando Framework laravel, que implemente un programa de salud

Selecciona sexo

Hombre

Mujer

Selecciona Tu edad *

6

7

8

Figura 3. Encuesta de salud alimentaria y física.

Identificación de roles de usuarios

Para generar los procesos y el desarrollo de actividades pertinentes a los entes inmersos en el proyecto, fue necesario identificar las acciones para cada tipo de usuario:

- Súper administrador: Encargado de registrar a los directores de las instituciones, registrar alimentos, encuestas y datos esenciales de la aplicación.
- Directores: Los directores serán los administradores de la aplicación, ellos se encargarán de registrar a los docentes, estudiantes, grados y grupos; así como asignar un docente y estudiantes a un grado y un grupo.
- Docentes: Los docentes podrán visualizar un resumen de las actividades que han realizado sus estudiantes, así como el porcentaje de avance.
- Padres o Tutores: Serán los encargados de incentivar a que el estudiante realice las actividades asignadas en la app, además de proveer el dispositivo electrónico de uso limitado para poder dar seguimiento al programa asignado.
- Estudiantes: Los estudiantes son los usuarios a los cuales va dirigida la aplicación, ellos brindaran la información requerida por la app.

Diagramas de secuencia de los procesos

Una vez identificados los procesos de cada usuario, plasmo dicha información mediante diagramas de secuencia que permitan visualizar la interacción con la app, como ejemplo de la estructura se muestra la Figura 4.

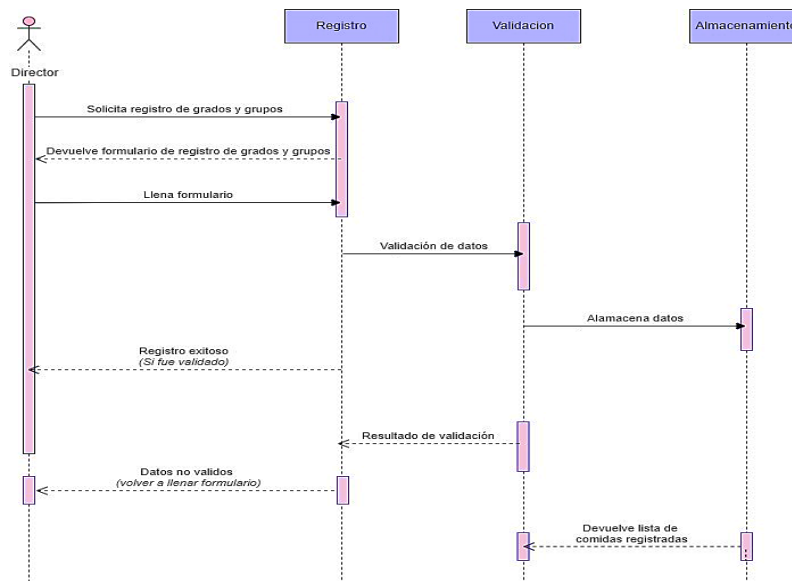


Figura 4. Ejemplo de diagrama de secuencia de los procesos.

Maquetado

Para generar un panorama general de navegación y elementos necesarios en la aplicación, fue necesario realizar el maquetado de las interfaces graficas de usuario (ver figura 5) que serán usadas con el fin de definir el flujo y relación entre interfaces, de tal forma que al momento de desarrollar se optimice el tiempo con el menor número de cambios.



Figura 5. Maquetado de interfaces.

Diseño de base de datos

Una vez definidos los procesos, roles y actividades inmersas en la app se dio paso a la creación de la base de datos(ver figura 6) con el gestor MySQL, aplicando la normalización para almacenar la información de forma íntegra y consistente, evitando así la redundancia e inconsistencia de datos [20] [21].

Resultados y discusión

El desarrollo de la app fue realizado mediante el uso del framework IONIC considerando que permite generar aplicaciones nativas e híbridas [22] [23]. Además, se hizo uso del lenguaje TypeScript basado en JavaScript para el lado del cliente, así mismo se implementaron hojas de estilo SASS [24] [25] [26] [27]. La conectividad de la API se desarrolló mediante la ayuda del framework Laravel 5.2 [28].

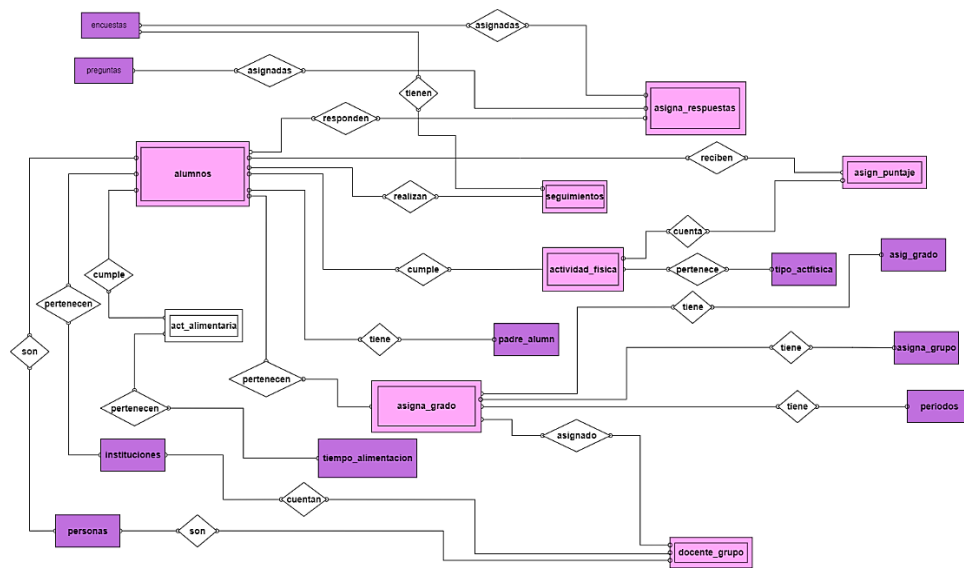


Figura 6. Modelo entidad relación de la base de datos.

El inicio de la app consta de un login donde los usuarios ingresan su usuario y contraseña para poder acceder a la app móvil y dependiendo del usuario y sus permisos podrá acceder al dashboard de la app. En este apartado se tiene el menú con las diferentes acciones (ver Figura 7).

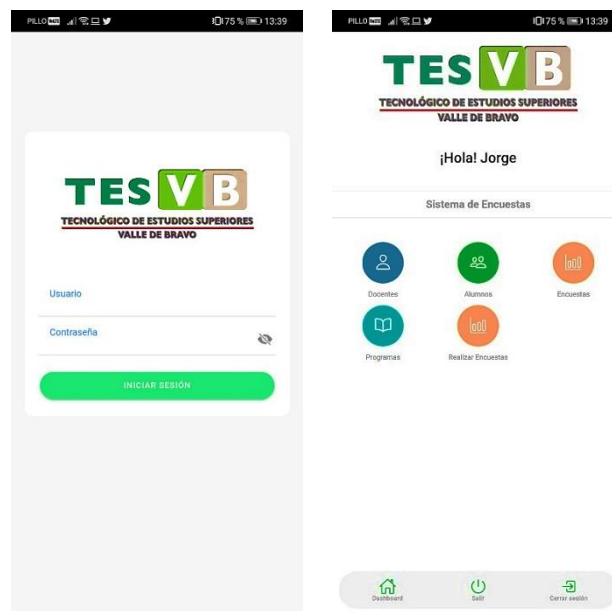


Figura 7. Login y dashboard de la app.

El administrador cuenta con los privilegios de acceso y es el responsable del registro de docentes y estudiantes (ver Figura 8). Una vez que se agregue la información solicitada, se almacena en la base de datos.

El módulo de encuestas es esencial para el proyecto debido a que en este se registrarán las diferentes indagaciones que se generen para identificar los hábitos de activación física y alimentarios que tiene el estudiante, de esta forma se podrá analizar cada uno de los resultados que estarán registrados (ver Figura 9).

The image shows two side-by-side screenshots of a mobile application interface. The left screenshot is titled 'Agregar Docente' (Add Teacher) and contains the following fields: 'Nombre' (Name), 'Apellido Paterno' (Paternal Surname), 'Apellido Materno' (Maternal Surname), 'Género' (Gender) with a dropdown menu, 'Dirección' (Address), 'Teléfono' (Phone), and 'Institución' (Institution) with a dropdown menu. A green 'Guardar' (Save) button is at the bottom. The right screenshot is titled 'Agregar Alumnos' (Add Students) and contains the following fields: 'Nombre' (Name), 'Apellido Paterno' (Paternal Surname), 'Apellido Materno' (Maternal Surname), 'Género' (Gender) with a dropdown menu, 'Dirección' (Address), 'Teléfono' (Phone), and 'Datos del Padre o Tutor' (Parent or Tutor Data) with a 'Nombre' (Name) field. A green 'Guardar' button is also present at the bottom.

Figura 8. Formulario de registro de docentes y estudiantes.

Este módulo permite crear diferentes instrumentos de recolección según las necesidades de la institución, puesto que a partir de los resultados de la encuesta dependerá el programa de activación física que será asignado al estudiante.

The image shows two side-by-side screenshots of a mobile application interface. The left screenshot is titled 'Encuestas' (Surveys) and shows a list of survey categories: 'Encuesta Sobrepeso', 'Encuesta Autoestima', 'Medir el desempeño académico', 'Medir el autoestima escolar', and 'pruebas'. Each category has a bar chart icon and a right-pointing arrow. A green '+' button is in the top right corner. The right screenshot is titled 'Encuesta' (Survey) and shows a 'PREGUNTAS' (Questions) section with a green 'AGREGAR PREGUNTA' (Add Question) button. Below this, there are two question examples: 'Convives con tus amigos' with options '25% si' and '75% No', and 'Como es la convivencia con los docentes' with options '50% Buena', '25% Mala', and '25% Regular'. A green '+' button is next to each question.

Figura 9. Módulo de encuestas.

Posterior al registro de encuestas se genera un programa físico dinámico para el estudiante, dentro del cual se encontrarán diferentes actividades preestablecidas con base en el puntaje obtenido en el instrumento de recolección de datos como se ilustra en la Figura 10.

Análisis de resultados

Los resultados preliminares que se presentan a continuación sobre de los hábitos de activación física y alimentarios se realizaron en la población especificada en el caso de estudio, donde el 53,8% son hombres y 46,2% son mujeres.

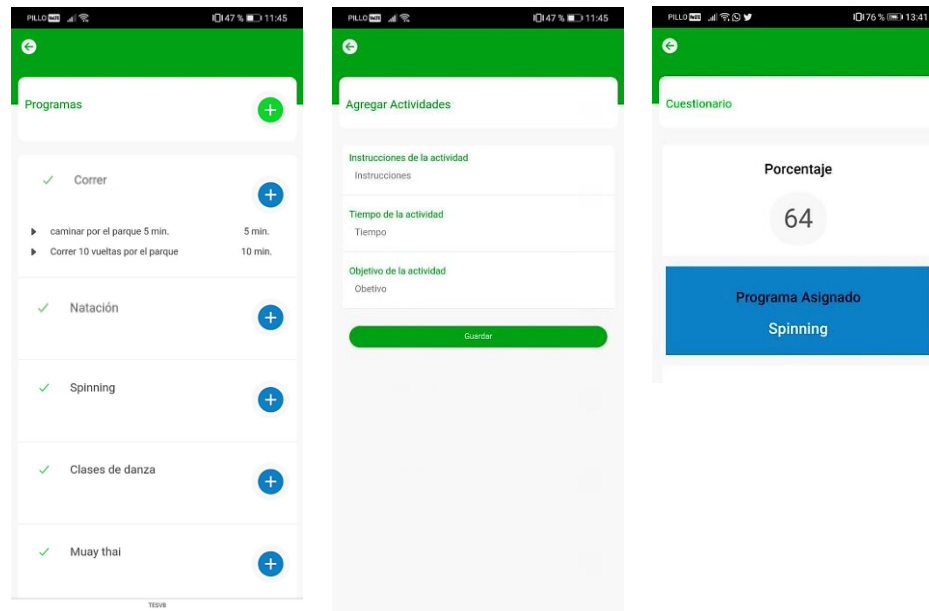


Figura 10. Generación de programa de activación física.

Los hábitos alimenticios son relevantes en la nutrición de los estudiantes, sin embargo, en la población de este estudio el 30,8% nunca consumen verduras y el 53,8% casi nunca consumen verduras (ver Figura 11), según la periodista Lidia Nieto las verduras son alimentos saludables que contribuyen al desarrollo saludable, convirtiéndose en la comida ideal para los niños que tengan tendencia a la obesidad, adicionalmente ayudan a la prevención de diversas enfermedades infantiles como diabetes o cáncer [29].

¿Con frecuencia comes frutas y verduras?

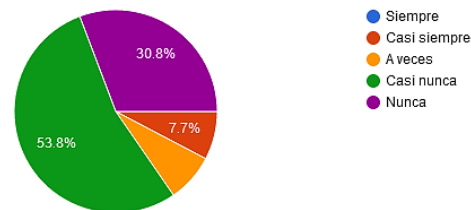


Figura 11. Consumo de frutas y verduras.

Uno de los datos que revelan algunas de las causas que propician el poco consumo de frutas y/o verduras, es la disponibilidad que se tiene en casa: 46,2% nunca tienen fruta disponible, 30,8 % casi nunca tienen fruta disponible. la Sociedad Española de Medicina de Familia y Comunitaria (semFYC) sugiere el consumo abundante de frutas y verduras para prevalecer una buena salud, mejorar el sistema inmunológico de los menores [30].

En contraparte se analizó el consumo excesivo de dulces, pasteles o galletas. Los resultados indican que el 84,6 % de los estudiantes consumen estos productos y solo el 15,4% los evita; el nutricionista Saúl Sánchez Arias resalta que estos alimentos mencionados provocan daños severos (diabetes, cáncer, problemas digestivos y cardiacos) [31].

Asimismo, la ingesta de bebidas gaseosas y endulzantes artificiales es preocupante dado que el 53,8% de los estudiantes tienen un alto consumo y el 23,1% un consumo moderado, sin embargo, esto indica que los estudiantes no consumen agua en sus hogares; el Instituto Colombiano del Bienestar Familiar puntualiza la importancia de una buena hidratación ya que involucra el buen funcionamiento de todas las células y órganos, pasando por procesos de eliminación de los desechos, e incluso la regulación de la temperatura corporal [32].

Otro de los factores que influyen notablemente en los hábitos de los niños es el uso de la computadora y

videojuegos en los tiempos libres, en el cual se ha identificado un crecimiento alarmante; se estima que el 84,6% utilizan estas tecnologías de forma constante y tan solo el 15,4% evita su uso (ver figura 12), por tanto, los menores anulan cualquier probabilidad de participación en actividades recreativas [33].

¿Evitas el uso de videojuegos y computadoras en tu tiempo libre?

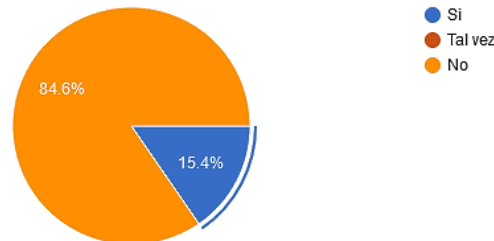


Figura 12. Uso de videojuegos y computadoras en tiempos libres.

Lamentablemente tan solo el 15,4% realiza deporte y el 23.1 lo hacen esporádicamente. Estas cifras porcentuales son preocupantes, ya que la falta de activación física desencadena problemas en la salud. El sedentarismo es uno de los factores asociados a la obesidad. Es un factor de riesgo para enfermedades crónicas [34].

Finalmente, se identificó que una de las causas de la falta de ejercicio es debido a que los padres o tutores de los menores no realizan actividades al aire libre con ellos: el 53,8% nunca realizan dicha actividad, el 23,1% las realizan muy pocas ocasiones, un 15,4% realizan ejercicio frecuentemente y tan solo un 7,7% tiene una rutina constante. Fomentar hacer deporte en compañía de la familia ya que contribuye con grandes beneficios físicos, de salud y sociales, que previenen el sobrepeso y la obesidad [35].

Todos los resultados presentados se relacionan directamente con la falta de cumplimiento del programa asignado a los estudiantes en la app, ya que solo un tercio de los estudiantes tuvieron un seguimiento completo, los otros dos tercios completaron menos del 50% de las actividades.

Trabajo a futuro

Es necesario generar un plan de sensibilización y concientización en el cual participe toda la familia, ya que la mayoría de las ocasiones no proporcionan las condiciones adecuadas para que se desarrollen los hábitos alimenticios y de activación física, esto afecta la disposición para cumplir con el programa asignado por la app. Como un complemento de un programa mas completo, se planea la inclusión de dispositivos de monitoreo como las bandas inteligentes(wereables). Así mismo complementar la app para gestionar recomendaciones automáticas para los padres determinadas por algoritmos de toma de decisión (Machine learning, IA), con base en los hábitos de sus hijos.

Conclusiones

Desempeñar alguna actividad física hoy en día es algo complicado ya que existen varios distractores en la actualidad por medio de la tecnología. Aprovechar la tecnología para generar una herramienta de apoyo complementaria que permite monitorear el cumplimiento de un programa de activación física es una estrategia viable y que captura la atención de los estudiantes si se complementa con algún incentivo, además de aprovechar la iniciativa de competitividad; no obstante, depende totalmente de la participación y seguimiento de los padres, madres o tutores para que los resultados sean aceptables. La funcionalidad de la app es adecuada, no obstante, se puede complementar para mejorar los programas que se aplican a los diferentes grados de educación primaria. Por último, es necesario sensibilizar y concientizar a los usuarios para tomar importancia en el cumplimiento de las actividades con la finalidad de mejorar la calidad de vida.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por el TecNM y al TESVB por el apoyo brindado en el desarrollo de la investigación y por la infraestructura que se facilitó en el proceso.

Referencias

- [1] J. A. Serrano, «La obesidad infantil y juvenil,» *Quaderns de polítiques familiars*, nº 4, pp. 36-47, 2018.
- [2] C. Fernández Esteban, «Cómo prevenir la obesidad infantil, uno de los problemas de salud más graves del siglo XXI,» 04 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://businessinsider.mx/prevenir-obesidad-infantil-problemas-de-salud-mas-graves-del-siglo-xxi/>. [Último acceso: 08 Agosto 2022].
- [3] Infocop, «La obesidad infantil y adolescente se ha multiplicado por 10 en 4 décadas según la OMS,» 1 Enero 2018. [En línea]. Available: https://www.infocop.es/view_article.asp?id=7196. [Último acceso: 08 Agosto 2022].
- [4] E. P. USA, «Obesidad en niños y adolescentes se multiplicó por 10 en cuatro décadas,» 02 Junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.elperiodicousa.com/obesidad-en-ninos-y-adolescentes-se-multiplico-por-10-en-cuatro-decadas/>. [Último acceso: 08 Agosto 2022].
- [5] F. Reyes, «El drama de la obesidad infantil, la pandemia “tapada” que pone en jaque a futuras generaciones,» 23 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.infobae.com/salud/2020/08/23/el-drama-de-la-obesidad-infantil-la-pandemia-tapada-que-pone-en-jaque-a-futuras-generaciones/>. [Último acceso: 08 Agosto 2022].
- [6] O. A. Criollo Guzmán y G. Jiménez Estrada, Factores de riesgo relacionados con obesidad en niños de 5 a 9 Años de edad en cinco consultorios, Centro de Salud Guasmo Norte. Año 2018, Santiago, Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2018, p. 5.
- [7] A. Pérez Herrera y M. Cruz López, «Situación actual de la obesidad infantil en México,» 20 enero 2020. [En línea]. Available: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112019000200463#:~:text=El%20aumento%20en%20la%20obesidad,es%20del%2024%2C3%25.. [Último acceso: 08 Agosto 2022].
- [8] V. Aguayo y J. Ralston, «Medidas contra la obesidad infantil en tiempos de COVID-19,» 19 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.unicef.org/mexico/historias/medidas-contra-la-obesidad-infantil-en-tiempos-de-covid-19#:~:text=Es%20cada%20vez%20m%C3%A1s%20evidente,potenciales%20impactos%20negativos%20sin%20precedente..> [Último acceso: 08 Agosto 2022].
- [9] UNICEF, «En peligro el futuro de 370 millones de niños que han dejado de recibir las comidas escolares debido al cierre de las escuelas, según UNICEF y PMA,» 28 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/en-peligro-el-futuro-de-370-millones-de-ni%C3%B1os-que-han-dejado-de-recibir-las>. [Último acceso: 08 Agosto 2022].
- [10] M. E. Gómez Collado y I. López Berber, «La educación para la paz desde las perspectivas holística y sistémica,» *Revista Cultura de Paz*, vol. 4, pp. 173-194, 2020.
- [11] P. S. Camacho Zambrano, «Implementación de un programa completo de bailloterapia para la disminución de los niveles de obesidad infantil y los problemas que esta conlleva en niños de 8 a 12 años del barrio Nueva Esperanza en San Lorenzo - Esmeraldas,» *Universidad de Guayaquil, Facultad de Educación Física, Deportes y Recreación*, 2021.
- [12] FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF, El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2021. Transformación de los sistemas alimentarios en aras de la seguridad alimentaria, una nutrición mejorada y dietas asequibles y saludables para todos, Roma, Italia: FAO, 2021.
- [13] E. Bautista Martínez y L. Briseño Maas, «Pandemia, educación y desigualdad,» de *El mundo en tiempos de pandemia: COVID-19*, Ciudad de México, INSTITUTO BELISARIO DOMÍNGUEZ, SENADO DE LA REPÚBLICA, 2020, pp. 65-74.
- [14] V. Matzkin, A. Maldini y R. Pilar Gutiérrez, «Hábitos alimentarios en la infancia: ¿Cómo afectó la pandemia?,» 21 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://contexto.unlpam.edu.ar/index.php/articulos/investigacion/124-habitos-alimentarios-en-la-infancia-como-afecto-la-pandemia#:~:text=Es%20notable%20que%20antes%20de,el%20desarrollo%20social%20y%20comunicacional..> [Último acceso: 08 Agosto 2022].
- [15] M. d. R. Calderón Gil, «LA OBESIDAD ENTRE LOS NIÑOS Y LOS ADOLESCENTES SE HA MULTIPLICADO POR 10 EN LOS CUATRO ÚLTIMOS DECENIOS,» *Actualisalud*, 2020.
- [16] Z. J. González Espitia y J. L. Villadiego Lora, «Tiempo de pantalla en niños de 5 a 12 años,» Universidad de Córdoba, Montería, Colombia, 2022.

- [17] M. E. Velázquez Tejeda, F. F. Goñi Cruz y M. Luquillas Rodríguez, «Estrategia pedagógica para el mejoramiento de los hábitos alimenticios,» SciELO Analytics, La Paz, Bolivia, 2021.
- [18] Netquest , «Netquest,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.netquest.com/es/encuestas-online-investigacion>. [Último acceso: 24 Agosto 2022].
- [19] B. Suárez Lindao y B. Maggi Garcés, «Escala de Likert en el nivel de conocimiento de Diabetes Tipo 2 en la provincia de Santa Elena,» *Ciencias Pedagógicas e Innovación*, vol. 8, nº 1, pp. 78-83, 2020.
- [20] MySQL, «MySQL,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.mysql.com/>. [Último acceso: 24 Agosto 2022].
- [21] A. Robledano, «Qué es MySQL: Características y ventajas,» 24 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://openwebinars.net/blog/que-es-mysql/>. [Último acceso: 24 Agosto 2022].
- [22] Ionic, «Ionic Framework,» 2022. [En línea]. Available: <https://ionicframework.com/#>. [Último acceso: 24 Agosto 2022].
- [23] J. M. Agüero Atmitim, «Qué es Ionic: ventajas y desventajas de usarlo para desarrollar apps móviles híbridas,» 22 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://profile.es/blog/que-es-ionic/>. [Último acceso: 24 Agosto 2022].
- [24] TypeScript, «TypeScript is JavaScript with syntax for types.,» 2022. [En línea]. Available: typescriptlang.org. [Último acceso: 24 Agosto 2022].
- [25] IntelliJ IDEA, «IntelliJ IDEA,» 2022. [En línea]. Available: https://www.jetbrains.com/idea/promo/?source=google&medium=cpc&campaign=9731171904&term=javascript%20in%20java&gclid=CjwKCAjwu5yYBhAjEiwAKXk_el6pdcl-gZct9kR5M-RcO3IraG_Rs-RplkJks4XBn8gP2CFDvNClxoCydqQAvD_BwE. [Último acceso: 24 Agosto 2022].
- [26] MDN, «JavaScript,» 4 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript>. [Último acceso: 24 Agosto 2022].
- [27] Sass, «CSS with superpowers,» 2022. [En línea]. Available: <https://sass-lang.com/>. [Último acceso: 24 Agosto 2022].
- [28] Laravel , «Laravel,» 2022. [En línea]. Available: <https://laravel.com/docs/5.2/releases#laravel-5.2>. [Último acceso: 24 Agosto 2022].
- [29] L. Nieto, «Los beneficios que aportan las verduras a los niños,» 23 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.guiainfantil.com/articulos/alimentacion/los-beneficios-que-aportan-las-verduras-a-los-ninos/>. [Último acceso: 08 Agosto 2022].
- [30] Papps-semFYC, « Año Internacional de las Frutas y Verduras 2021,» 28 Mayo 2021. [En línea]. Available: [https://papps.es/ail-de-las-frutas-y-verduras-2021/#:~:text=Beneficios%20de%20comer%20frutas%20y%20verduras&text=Las%20frutas%20y%20verduras%20son,futuro%20\(Xin%2C%202016\)..](https://papps.es/ail-de-las-frutas-y-verduras-2021/#:~:text=Beneficios%20de%20comer%20frutas%20y%20verduras&text=Las%20frutas%20y%20verduras%20son,futuro%20(Xin%2C%202016)..) [Último acceso: 08 Agosto 2022].
- [31] S. Sánchez Arias, «Los efectos del abuso de la comida basura en un niño,» 02 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://eresmama.com/los-efectos-del-abuso-la-comida-basura-nino/>. [Último acceso: 08 Agosto 2022].
- [32] ICBF, «El agua, un aliado para el desarrollo de la niñez,» 13 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.icbf.gov.co/ser-papas/importancia-del-agua-en-la-dieta-de-los-ninos#:~:text=Una%20buena%20hidrataci%C3%B3n%20implica%20el,regulaci%C3%B3n%20de%20la%20temperatura%20corporal..> [Último acceso: 08 Agosto 2022].
- [33] E. P. VALÈNCIA, «Los pediatras alertan de la relación entre el excesivo uso de los teléfonos con la obesidad infantil,» 27 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.lavanguardia.com/vida/20190527/462504490125/pediatras-relacion-dispositivos-moviles-obesidad-infantil.html>. [Último acceso: 08 Agosto 2022].
- [34] Nestlé, «La falta de ejercicio. Descubre sus consecuencias y cómo combatirla,» 2022. [En línea]. Available: <https://nestlefamilyclub.es/articulo/la-falta-de-ejercicio-descubre-sus-consecuencias-y-como-combatirla#:~:text=El%20sedentarismo%20afecta%20al%20peso,y%20activa%20ante%20las%20dificultades..> [Último acceso: 08 Agosto 2022].
- [35] F. María García, «El deporte en familia y sus grandes beneficios,» 09 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://mejorconsalud.as.com/deporte-familia-grandes-beneficios/>. [Último acceso: 08 Agosto 2022].

Aplicación Móvil para Monitoreo e Historial de Precios de Gasolina y Diésel en Estaciones de Servicio

Ángela Fernanda Reyes Ruiz¹, Ismael Ariel Robles Martínez², Sergio Zepeda Hernández³,
¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa - 2173033935@cua.uam.mx,
²Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa - irobles@cua.uam.mx,
³Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa – jzepeda@cua.uam.mx.

Área de participación: *Sistemas computacionales, Desarrollo Web, Ingeniería de software.*

Resumen

La gasolina y el diésel siempre han sido un tema de suma importancia en la economía mexicana. El gobierno de México a través de la Comisión Reguladora de Energía, proporciona los precios de gasolina y diésel de forma libre y gratuita, pero en un formato no comprensible para cualquier usuario. En este artículo se muestra cómo estos datos son obtenidos, procesados y almacenados, para permitir ofrecer un servicio de visualización de información y así los usuarios fácilmente puedan comprender la información y realizar búsquedas de estaciones cercanas, obtener precios, rutas de localización de estaciones y gráficas de historial de precios en estaciones en distintos intervalos de tiempo, todo esto por medio de una aplicación móvil.

Palabras clave: *Aplicaciones móviles, Sistemas de Información, Desarrollo de Sistemas, Combustibles, Comparación de precios.*

Abstract

Gasoline and diesel have always been a major issue in the Mexican economy. The Mexican government, through the Energy Regulatory Commission, provides gasoline and diesel prices free of charge, but in a format not understandable to any user. This paper shows how data are collected, processed and stored, to enable an information visualization service to be offered and so that users can easily understand the information and search for nearby stations, get prices, find station locations and routes and graphs showing the price history at stations at different time intervals, all through a mobile application.

Key words: *Mobile Applications, Information Systems, Systems Development, Fuels, Price Comparison.*

Introducción

Hoy en día las aplicaciones móviles juegan un papel muy importante en nuestras vidas, gracias a la adaptación de la tecnología en las actividades diarias que realizamos, podemos utilizar estas herramientas como medios que nos permiten tener una mejor interacción con la información ofrecida por el producto o servicio, aumentando así nuestro interés como consumidores [1]. A su vez, los precios de la gasolina y el diésel son de mucha importancia en la sociedad mexicana, debido al costo que generan principalmente en los vehículos para la prestación de servicios o traslado de mercancías, dado que un aumento en el precio de estos combustibles puede generar una escalada de precios, causando afectaciones directas en la economía nacional y a los consumidores de productos o servicios. En 2015 se estableció un decreto en México que establece la regulación en materia de datos abiertos, en el cual en su artículo 6 detalla que tenemos derecho de libre acceso a información plural y oportuna y el acceso gratuito a la información pública sin necesidad de acreditar interés alguno o justificar su utilización [2]. De esta manera, actualmente se tiene por parte del gobierno una implementación de servicios que proveen información diaria de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), para poder ofrecer los datos correspondientes de los precios de las gasolinas y diésel, con el fin de mantener a la población informada acerca de las 90 regiones de nuestro país, tomando en cuenta que 7 de ellas están en la zona fronteriza, donde disminuye el precio de las gasolinas [3], esto debido a la competencia que surge con la frontera de Estados Unidos, teniendo así cambios más drásticos que en el resto del país. En la zona fronteriza sur, de igual forma se aplican estímulos fiscales de acuerdo al decreto del Diario Oficial de la Federación [4], el cual entró en vigor el 1 de enero de 2021 y estará vigente hasta el 31 de diciembre de 2024, esto con la intención de impulsar el crecimiento económico de esa región.

Todos los datos son públicamente disponibles por el gobierno a través de la Licencia “Libre uso MX” [5], que establece que se pueden explotar comercialmente dichos datos, para poder adaptarlos y difundirlos, no obstante, se requiere cumplir con algunas condiciones, como lo es citar correctamente la fuente de origen. Los datos son actualizados diariamente a la 1:00 am, y pueden ser descargados directamente en <https://datos.gob.mx/> [6], los cuales se encuentran en dos archivos XML con más de diez mil registros cada uno, donde un archivo contiene el precio y otro el nombre, ubicación y sin un orden en los listados, por lo que la disponibilidad de los datos en estos formatos, no permite un fácil uso o visualización de la información a los usuarios. Considerando lo anterior, este artículo muestra el desarrollo de una aplicación móvil que realiza una recolección diaria de los datos de estas variaciones de precio, después por medio de un procesamiento se pueden unificar los datos y estos puedan ser visualizados en una interfaz de un dispositivo móvil para ofrecer mayor información de cada estación de servicio, y un historial de precios de las estaciones por medio de la aplicación móvil que es nativa tanto para Android como para iOS, de esta manera la contribución es ofrecer una referencia para este tipo de desarrollos que permitan dar solución a otro tipo de problemas similares.

Metodología

Materiales

Como principal tecnología podemos destacar el uso de XML (Extensible Markup Language), que son documentos con un lenguaje de marcado compuestos de etiquetas, atributos y texto. Estos archivos forman un papel fundamental para el sistema, debido que en este formato son obtenidos los datos del web service de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), siendo la fuente de datos y que tendrán una transformación posterior, explicada a detalle más adelante. Como control de versiones se utilizó Git como una herramienta de desarrollo colaborativo [7]. Del lado servidor se utilizó Java XML API Binding (JAXB) [8], que permite mapear documentos XML como objetos Java. Para la programación y configuración de la aplicación utilizamos Spring Framework, que actúa como soporte de infraestructura enfocado a las aplicaciones modernas basadas en Java para la integración, validación o enlace de datos [9]. Esta plataforma cuenta con una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) de tipo Transferencia de Estado Representacional (REST) con la intención de acceder y modificar la información del servidor. Para alcanzar una arquitectura de microservicios se utilizó una Plataforma como Servicio (PaaS) para publicar el servidor en Internet. Del lado Cliente en el desarrollo se usó HTML, CSS y JavaScript como base de interfaz de usuario y para el desarrollo de componentes web se usó Angular, finalmente por medio de Ionic Capacitor se realizó la exportación como una aplicación móvil multiplataforma para Android e IOS.

Preparación

Con el objetivo de tener una estructura clara del proyecto y apegándose a los 12 principios expresados en el Manifiesto Ágil de Software [10], nos basamos en la metodología SCRUM [11], rescatando las buenas prácticas para un trabajo colaborativo, así como las técnicas y métodos iterativos para poder optimizar las entregas parciales, utilizando el Sprint para tener en cuenta los eventos y adaptarlos a la implementación, así mismo controlando el proceso de desarrollo, teniendo el compromiso y enfoque en el proyecto. Además, del método y sistema Kanban [12] que nos permitió gestionar el tiempo que nos tomó realizar algunas tareas, así como las mejoras continuas en el proceso para la aplicación. Como parte del inicio del desarrollo se especificaron los principales servicios a ofrecer a los usuarios entre los cuales encontramos: a) Buscar gasolineras cercanas, donde los usuarios a través de tener activo su GPS se muestre la gasolinera más cercana y los precios actualizados, y proporcionar una ruta para su localización, así como la selección de alguna otra estación cercana con la misma facilidad para llegar a ella. b) Almacenar las gasolineras usuales o favoritas para monitorear los precios, rutas y compartir información de la misma. c) Obtener un historial de precios a lo largo del tiempo para las estaciones, y producir gráficas de visualización del comportamiento de los precios ofrecidos, además de detectar posibles patrones de incrementos programados. La figura 1 presenta el diagrama de casos de uso donde se muestran los principales servicios a los usuarios por la aplicación móvil. Se puede observar cómo el usuario por medio de una interfaz puede ofrecer estos tres principales servicios, accediendo de manera transparente a una base de datos actualizada constantemente y que mantiene un histórico de datos continuo.

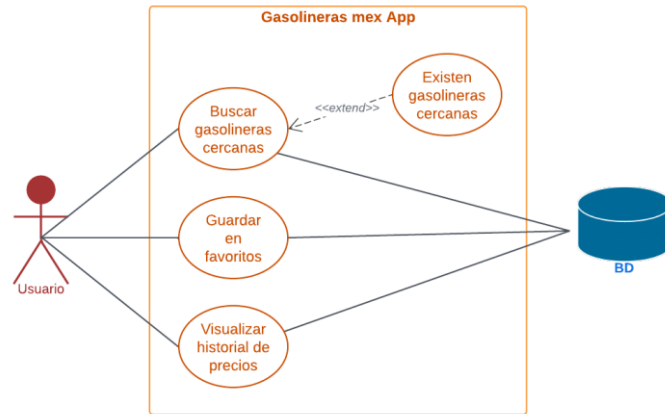


Figura 1. Diagrama de casos de uso de la interfaz general del sistema.

Resultados y discusión

Recopilación e integración de los datos

A continuación, se presentan todos los pasos involucrados en el procesamiento general para la recopilación, tratamiento y captura de los datos en la base de datos. El primer paso es la petición de los datos a la Comisión Reguladora de Energía (CRE), los datos son actualizados diariamente a la 1:00 am. y la petición por el sistema se realiza a las 3:00 am, es importante resaltar que la información que se recopila está fragmentada en dos archivos XML, de los cuales uno contiene la geolocalización de la estación de servicio y el otro archivo XML solo el identificador de la estación y precios de los combustibles, para lo cual siempre es necesario obtener una referencia cruzada de datos entre los archivos, dado que el orden de los mismos siempre tiene variación. Además, también es necesario resaltar que no todas las estaciones de servicio ofertan gasolina y diésel, ya que existen algunas que sólo ofrecen gasolina, lo que da mayor complejidad al proceso. La figura 2 nos muestra el diagrama de secuencia que expone el diseño de interacción de datos del sistema que inicialmente realiza la petición de la aplicación al servicio CRE interno todos los días a las 3 am para solicitar los precios y estaciones del Web Service de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), haciendo un proceso de transformación de dos documentos XML a uno solo y posteriormente a objetos, que se guardarán en la base de datos, pasando por EstacionesDAO, que es el archivo encargado de encontrar y seleccionar las estaciones de servicio para regresar los precios actualizados de los combustibles ofrecidos y así al momento de que el usuario solicite la información de dichas gasolineras cercanas, nuestro servicio valide la ubicación del mismo y después pueda enviar la información requerida, para que la aplicación la pueda desplegar al usuario.

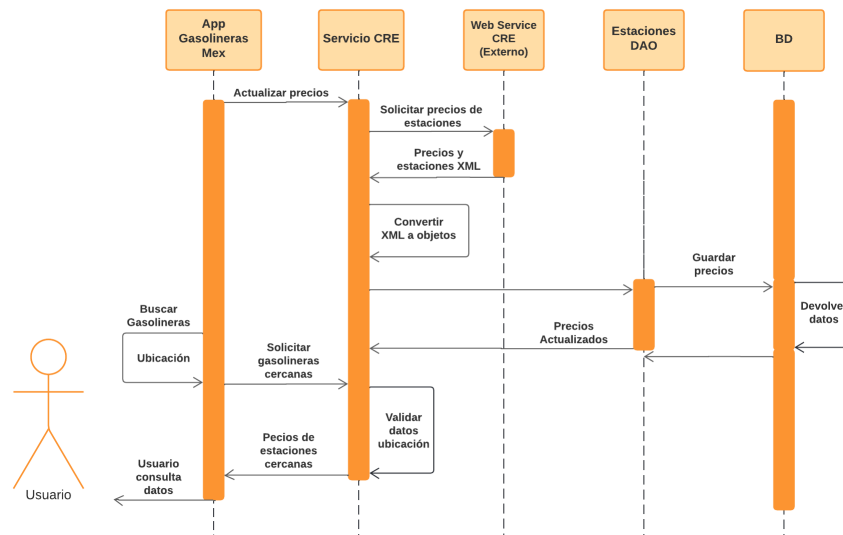


Figura 2. Diagrama de secuencia del proceso de transformación y solicitud de datos.

Para la integración de los datos obtenidos de los dos XML podemos observar en la siguiente figura 3 como estos datos están fragmentados y el servicio CRE debe de integrar los datos de geolocalización y precios en un solo archivo. Como se muestra en el siguiente diagrama, en el servicio CRE interno es donde los archivos pasan por un proceso de XSLT (Extensible Stylesheet Language for Transformations), que es un lenguaje que permite la transformación de documentos XML con la intención de convertirlos en un solo archivo que contenga la información de ambos y posteriormente estos datos pasen a ser una lista de objetos que se utilizará más adelante.

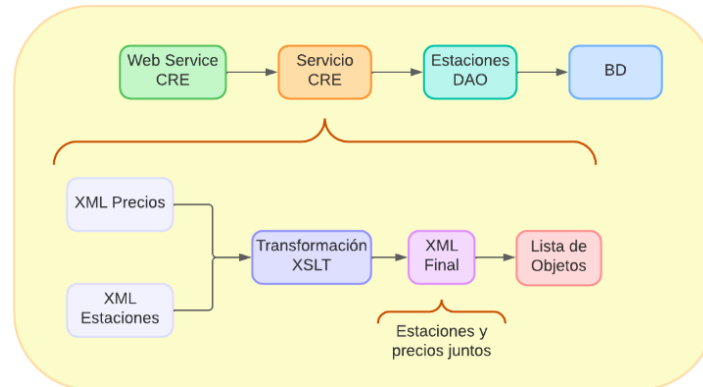


Figura 3. Diagrama de la transformación XSLT.

En la figura 4 se muestra como el XML tiene fragmentada la información, en el inciso a) se puede observar como solo se tiene un identificador (id) de la estación y los precios para gasolina regular, premium y diésel, en cuanto a el inciso b) podemos observar otro XML con el identificador (id) el nombre de la estación y su geolocalización, parte de la complejidad en el tratamiento de estos datos es que cada archivo cuenta con más de diez mil registros diarios (número de estaciones a nivel nacional) y los datos tienen un orden aleatorio en cada archivo, aunque en la figura 4 (b) se muestra el registro correspondiente para facilidad.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<places>
<place place_id="2039">
| <gas_price type="regular">19.99</gas_price>
</place>
<place place_id="2039">
| <gas_price type="diesel">20.59</gas_price>
</place>
<place place_id="2039">
| <gas_price type="premium">22.99</gas_price>
</place>
</places>
```

a) Precios de gasolina y diésel

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<places>
<place place_id="2039">
| <name>ESTACION DE SERVICIO CALAFIA, S.A. DE C.V.</name>
| <cre_id>PL/658/EXP/ES/2015</cre_id>
| <location>
| | <x>-116.9214</x>
| | <y>32.47641</y>
| </location>
</place>
</places>
```

b) Estaciones de servicio

Figura 4. Muestra de documentos XML.

Debido a la cantidad de datos y el orden aleatorio de los registros en cada archivo, se automatizó un proceso donde se reciben los dos documentos como archivos de entrada y se ejecuta una transformación con los más de diez mil registros en cada archivo, de esta manera para realizar la correspondiente referencia y fusión de todos los registros hacemos uso del identificador único, el cual es común a los dos archivos. Para mostrar este procesamiento, en la figura 5 podemos observar parte del código principal que permite esta integración de datos. El código nos muestra como tenemos archivos de entrada y un solo archivo de salida XSL con la referencia correspondiente entre registros de los dos archivos y obteniendo una integración y fusión de los datos. Una vez terminado este proceso podemos observar en la figura 6 el resultado logrado donde la integración de los dos archivos XML se ha procesado, por lo que ahora los registros están fusionados y cada uno ya contiene la geolocalización, nombre, tipo y precio de los combustibles que ofrece cada una de las estaciones de servicio.

```
@Override
public void generarXml(String archivoEntrada, String archivoSalida,
    String archivoXSL, Map<String,String> parametros){
    Source entrada = new StreamSource(new File(archivoEntrada));
    Result salida = new StreamResult(new File(archivoSalida));
    Source archivoxsl = new StreamSource(new File(archivoXSL));

    // ejecutamos la transformacion
    TransformerFactory fabrica = TransformerFactory.newInstance();

    try{
        Transformer transformador = fabrica.newTransformer(archivoxsl);

        //agregamos parámetros que se le pasarán a la transformación xslt:
        for(String nombreParametro:parametros.keySet()){
            String valorParametro = parametros.get(nombreParametro);
            transformador.setParameter(nombreParametro, valorParametro);
        }

        transformador.transform(entrada, salida);
    }catch(Exception e){
        throw new RuntimeException(e);
    }
}
```

Figura 5. Función de la transformación XSLT para generar un nuevo XML.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><estaciones>
  <estacion id="2039">
    <cre_id>PL/658/EXP/ES/2015</cre_id>
    <nombre>ESTACION DE SERVICIO CALAFIA, S.A. DE C.V.</nombre>
    <posicion_x>-116.9214</posicion_x>
    <posicion_y>32.47641</posicion_y>
    <precio_regular>19.99</precio_regular>
    <precio_diesel>20.59</precio_diesel>
    <precio_premium>22.99</precio_premium>
  </estacion>
</estaciones>
```

Figura 6. Muestra del documento final de la transformación XSLT.

Una vez lograda la integración es necesario almacenar los datos recopilados e integrados, para ello se diseñó una base de datos bajo el modelo entidad relación, como podemos observar en la figura 7 las tablas para almacenamiento están dividida por secciones relacionadas entre sí mediante sus identificadores, en la tabla “app.usuarios” se guardan los datos generales de cada usuario registrado en el sistema, esto con el fin de que el consumidor tenga un perfil propio en la aplicación, en cuanto a la tabla “app.estaciones”, esta almacena la información de cada estación de servicio del país, como lo son la ubicación y precios de combustibles que al cabo de un día serán almacenados en la tabla historial para mostrar la variación de dichos precios, así mismo en la tabla de “app.favoritos” se vincula la información de una gasolinera de interés con el usuario de la sesión actual, la tabla app.archivos se utiliza como respaldo de las imágenes que se van guardando en un servidor dedicado.

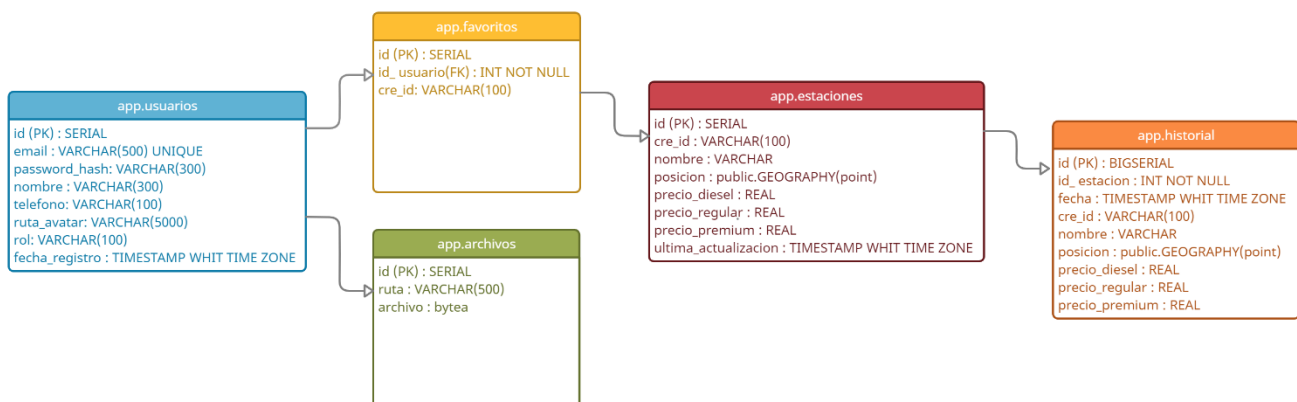


Figura 7. Modelo entidad-relación de la Base de Datos.

Recuperación de datos

Para el manejo del servidor se implementaron algunos métodos HTTP (REST) los cuales son microservicios que realizan peticiones directamente al servidor para manipular los recursos, es decir, para el intercambio de información entre el cliente y el servidor dependiendo lo que se requiera, además ayudan al funcionamiento de la aplicación, dividiéndolos en 4 campos (token-rest, usuario-rest, estaciones-rest e historial-rest). Para los microservicios es necesario usar los siguientes métodos: GET para consultar la información registrada previamente, POST es utilizado para la creación de un nuevo registro, ya sea de una estación de servicio o un nuevo usuario, PUT para actualizar datos existentes de un registro y por último DELETE se utiliza para borrar un registro de forma permanente. De esta manera al usar el método POST Token-rest tiene la función de regresar un token cuando ingresamos un correo y contraseña, si estos datos entrantes son válidos nos permitirá acceder a los demás métodos, esto con la intención de que, al iniciar sesión, el usuario reciba un token con el que podrá autorizar su entrada y navegación por el sistema hasta el cierre de su sesión. El método GET usuario REST nos devuelve la información de un usuario por medio de un identificador, el cual es otorgado al momento de registrarse como usuario nuevo. El método GET estaciones nos permite recuperar la información de estaciones de servicio por medio de un ID, utilizamos el método GET con la ruta /api/estaciones/{id}, al ingresar este identificador interno podemos obtener la información completa de la gasolinera que incluye el ID de la CRE, el nombre, ubicación, precios y la fecha en que se actualizaron. Como ejemplo utilizaremos el ID número 90786. Lo cual nos regresa como respuesta la información de la gasolinera con respecto a su identificador único otorgado por la CRE(PL/660/EXP/ES/2015), este se reconoce en nuestro sistema como "creld". Los datos son regresados en formato JSON como se muestra en la figura 8.



The screenshot shows a 'Server response' window with a 'Code' of 200 and a 'Response body' containing a JSON object. The JSON object includes the following fields: 'id' (90786), 'creId' (PL/660/EXP/ES/2015), 'nombre' (ESTACION RAEL, S. DE R.L. DE C.V.), 'posicion' (a nested object with 'lat' 32.51104 and 'lng' -116.9663), 'precioDiesel' (22.19), 'precioRegular' (21.89), 'precioPremium' (24.99), 'ultimaActualizacion' (2022-04-27T08:00:22Z), 'longitud' (-116.9663), and 'latitud' (32.51104). There are 'Copy' and 'Download' buttons at the bottom right of the JSON view.

```
{
  "id": 90786,
  "creId": "PL/660/EXP/ES/2015",
  "nombre": "ESTACION RAEL, S. DE R.L. DE C.V.",
  "posicion": {
    "lat": 32.51104,
    "lng": -116.9663
  },
  "precioDiesel": 22.19,
  "precioRegular": 21.89,
  "precioPremium": 24.99,
  "ultimaActualizacion": "2022-04-27T08:00:22Z",
  "longitud": "-116.9663",
  "latitud": "32.51104"
}
```

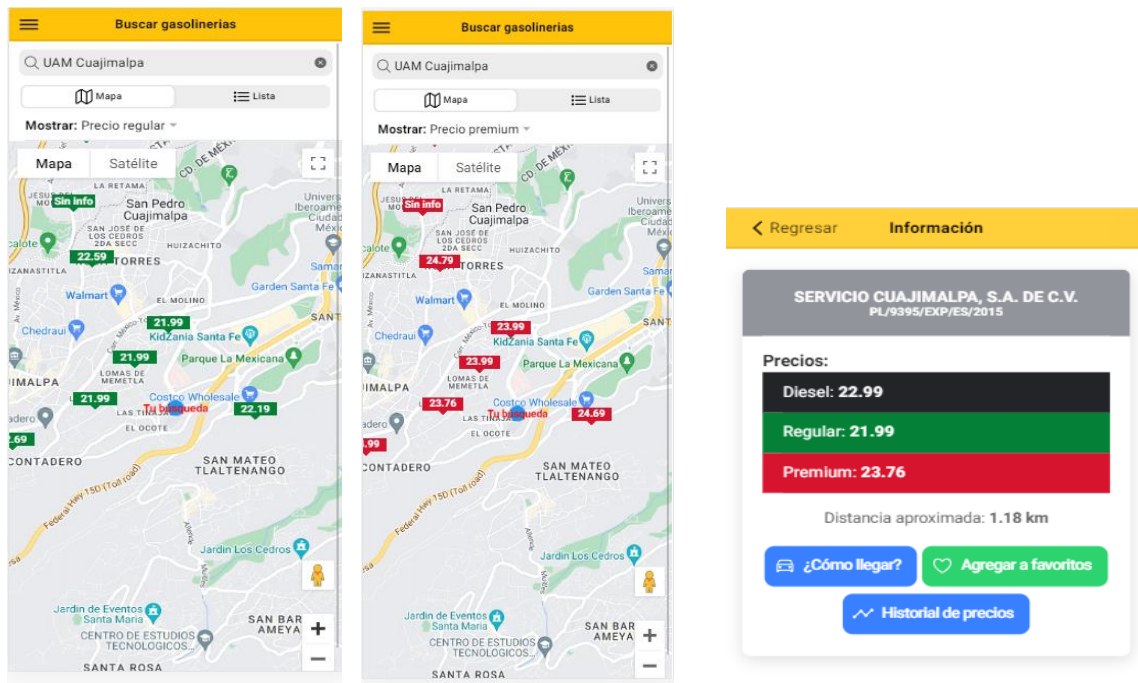
Figura 8. Respuesta del método GET - información de gasolinera consultada por su ID.

A su vez, podemos recuperar la información de acuerdo a la ubicación del usuario, para lo cual es necesario enviar como parámetros de entrada la latitud, longitud y una distancia máxima para la búsqueda de gasolineras cercanas, la cual es establecida en un radio en metros, estos datos son proporcionados vía GPS del dispositivo por medio de mapas georreferenciados, definiendo la cantidad en metros. Con el método GET Historiales se puede consultar la diferencia de precios a lo largo de un tiempo determinado, en una o varias estaciones, para ello se solicita una lista de crelds (Identificadores de la CRE), una fecha de inicio, otra fecha de término y el modo de visualización (días, semanas o meses). En la figura 9 se muestra la respuesta que retorna el método, es decir, una lista del historial con el precio promedio dentro de las fechas indicadas de acuerdo al intervalo dado. En este caso se puede observar la actualización de los precios de los combustibles de una misma gasolinera con diferencia de un día.


```
Server response
Code    Details
200     Response body
[
  {
    "creId": "PL/660/EXP/ES/2015",
    "fechaIntervalo": "2022-04-26T00:00:00Z",
    "precioDiesel": 22.19,
    "precioRegular": 21.79,
    "precioPremium": 24.99
  },
  {
    "creId": "PL/660/EXP/ES/2015",
    "fechaIntervalo": "2022-04-27T00:00:00Z",
    "precioDiesel": 22.19,
    "precioRegular": 21.59,
    "precioPremium": 24.99
  }
]
```

Figura 9. Respuesta del método GET - información del historial de precios según cada gasolinera.

El resultado final de todo este proceso lo podemos observar en la figura 10 en el inciso a) se presenta una vista de la aplicación móvil que muestra los resultados de una búsqueda, donde los datos son georreferenciados y podemos visualizar la información más detallada de la estación de servicio, como se observa en la figura 10 b) se puede obtener instrucciones para llegar y la distancia aproximada de la ubicación. Así como un botón de cómo llegar, el cual permite al usuario elegir entre dos mapas (Google maps y Waze), dependiendo de qué aplicación de apoyo utilice o le parezca más útil.



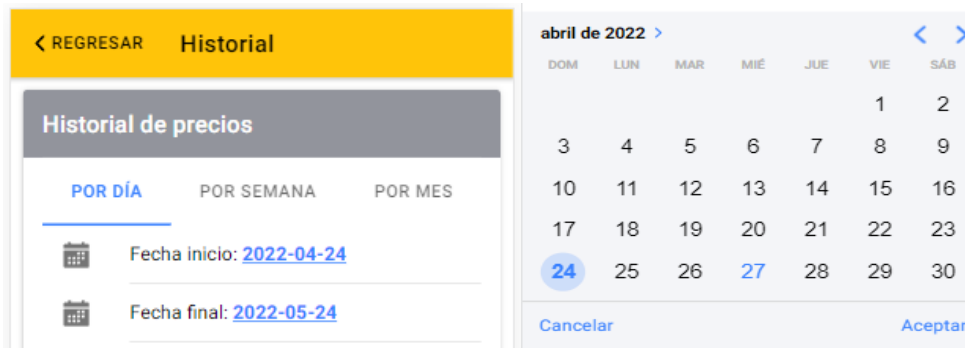
a) Sección "Buscar gasolineras" en Mapa.

b) Pestaña "Información" / datos de la gasolinera.

Figura 10. Capturas de pantalla de la aplicación.

En la figura 11 se puede observar como la aplicación nos muestra la interfaz donde se pueden apreciar las gráficas dinámicas basadas en los diferentes precios registrados en un intervalo de tiempo predeterminado, para cambiar a la fecha deseada, primero se deberá seleccionar el filtro de modo de visualización (por día, semana o mes) y posteriormente ingresar la fecha de inicio y final por medio del calendario que se mostrará en pantalla. Las gráficas dinámicas nos muestran la variación de precios que han tenido los combustibles con respecto al intervalo de

tiempo ingresado (del 24 de abril del 2022 al 24 de mayo del 2022) de una gasolinera, además podemos ver los cambios que se dan en dichas gráficas de acuerdo al modo de visualización seleccionado (día, semana o mes). Cabe mencionar que la línea de color rojo representa los precios de la gasolina premium, la línea de color negro el diésel y la línea verde la gasolina regular, asimismo el eje X representa los días de actualización y el eje Y el precio del combustible.



a) Sección Historial

b) Calendario



c) Historial por día

d) Historial por semana

e) Historial por mes

Figura 11. Capturas de pantalla de la pestaña Historial.

Trabajo a futuro

La creación de la presente aplicación móvil muestra distintos retos y etapas que necesitan ser superados cuando tenemos desarrollos de aplicaciones móviles que permiten utilizar miles de datos para brindar un servicio a los usuarios finales. Como trabajo futuro se visualiza implementar otras secciones en el funcionamiento del módulo historial, para así poder realizar una comparación de los precios entre gasolineras de todo el país y con ello, poder realizar diferentes tipos de análisis de comportamiento o patrones en conjunto, para ellos será necesario implementar otro tipo de gráficas, y con ello determinar cómo influye la ubicación y otros factores en los precios de los combustibles, siendo que podemos encontrar en la ciudad, pueblos cercanos, carreteras federales y autopistas variaciones de precios en gasolina y diésel no lógicas, debido a que el precio sube o baja drásticamente en estaciones que se encuentran a solo algunos metros de distancia o dentro de la misma ciudad solo variando la zona, lo que puede resultar interesante con todos estos datos realizar estudios más profundos de comportamiento en estaciones de servicio. También es de interés futuro incluir notificaciones o alertas para informar al usuario acerca de una variación de los precios de la gasolina y diésel en las estaciones de servicio que sean de su interés, destacando una baja en los precios. Además, permitir al usuario levantar reportes o hacer

comentarios de cada gasolinera para próximos clientes, esto con el fin de mejorar la experiencia de consumo, del mismo modo se registraría la visita del usuario y el consumo del combustible en litros que se tuvo en la estación de servicio. Por otra parte, consideramos que la aplicación está lista como primera versión para subirse a una plataforma digital para su descarga en Play Store y App Store.

Conclusiones

El desarrollo de aplicaciones móviles basadas en una arquitectura de microservicios, nos pueden ofrecer diferentes oportunidades de estudio y exploración, ya que cómo se muestra en esta investigación, es posible tener miles de datos que se almacenen diariamente en una base de datos, y obtener consultas de la información actualizada. A su vez, se muestra la capacidad de mantener historiales individuales de cada uno de los miles de registros reunidos día con día y con ello obtener gráficas que permiten un análisis del comportamiento de los datos recopilados a través del tiempo. En este caso en específico, se muestra un historial de los precios, pero también la posibilidad de recopilar, administrar y obtener los antecedentes de registros de datos que cambian continuamente, con lo cual se ofrece la posibilidad de poder generar aplicaciones móviles con mejores capacidades para los diversos tipos de análisis según el contexto de uso.

Referencias

- [1] M. Gill, S. Sridhar, and R. Grewal, "Return on Engagement Initiatives: A Study of a Business-to-Business Mobile App", *Journal of Marketing*, vol. 81, no. 4, pp. 45–66, Jul. 2017, doi: 10.1509/jm.16.0149.
- [2] "DOF - Diario Oficial de la Federación", *Dof.gob.mx*, 2015. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5382838&fecha=20/02/2015#gsc.tab=0
- [3] J. Ibarra Salazar y L. Sotres Cervantes, "La demanda de gasolina en México: El efecto en la frontera norte", *Frontera Norte*, vol. 20, n.º 39, pp. 131–156, May 2017, doi: <https://doi.org/10.17428/rfn.v20i39.998>
- [4] "DOF - Diario Oficial de la Federación", *Dof.gob.mx*, 2020. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5608907&fecha=28/12/2020#gsc.tab=0
- [5] "Datos Abiertos de México - datos.gob.mx", *Datos.gob.mx*, 2021. <https://datos.gob.mx/libreusomx>
- [6] "Datos Abiertos de México - datos.gob.mx", *Datos.gob.mx*, 2022. <https://datos.gob.mx/blog/los-precios-de-las-gasolin-as-en-datos-abiertos>
- [7] R. Ghandi, "Head first git: A learner's guide to understanding git from the inside out", Sebastopol, CA, Estados Unidos de América: O'Reilly Media, 2022.
- [8] "JAXB", Oracle, 2022. <https://javaee.github.io/jaxb-v2/>
- [9] "Spring Framework", Spring.io, 2017. <https://spring.io/projects/spring-framework>
- [10] "Manifiesto por el Desarrollo Ágil de Software", *Agilemanifesto.org*, 2021. <https://agilemanifesto.org/iso/es/manifiesto.html>
- [11] "Scrum Guide 2020", *Scrumguides.org*. <https://scrumguides.org/scrum-guide.html>
- [12] Edge J., "Kanban: La guía definitiva de la metodología Kanban para el desarrollo de software ágil", Bravex Publications, 2020.

Ingeniería inversa y mantenimiento perfectivo en software científico: caso PETGEM

M. A. Tapia-Arcos¹, M. A. Cerdán¹, O. Alba-Hernández¹, O. Castillo-Reyes² y S. Herrera-Velarde^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México/I.T. Superior de Xalapa. Reserva Territorial SN, Col. Santa Bárbara, Xalapa, Veracruz, México. salvador.hv@xalapa.tecnm.mx

²Barcelona Supercomputing Center (BSC), 08034 Barcelona, Spain

Área de participación: *Sistemas computacionales*

Resumen

El uso de software científico se ha extendido ampliamente en investigación básica y aplicada. Para los científicos computacionales, esta práctica se complica al trabajar con software o código creado sin buenas prácticas de ingeniería de software. Considerando que muchos desarrolladores o usuarios de software científico no cuentan con una preparación formal en ingeniería de software afrontar este reto representa una tarea que demanda mucho esfuerzo e inversión de tiempo. Aquí se presenta una propuesta de ingeniería inversa para familiarizarse con un software científico. Se muestran los pasos para analizar la documentación y diseño del software e identificar mejoras potenciales. El proceso se ilustra utilizando PETGEM y se presentan los resultados más relevantes. Estas prácticas podrían ser de utilidad para usuarios sin experiencia en ingeniería de software que requieren ahondar en el código fuente, documentación, unidades de programación y las relaciones y dependencias explícitas y ocultas del diseño.

Palabras clave: *cómputo científico, ingeniería inversa, PETGEM, reingeniería.*

Abstract

The use of scientific software has spread in basic and applied research. For computer scientists this is complicated when they must work with scientific software or when they inherit code created without good software engineering practices. Considering that most developers or users of scientific software do not have a formal training in software engineering, facing this challenge represents a task that requires effort and investment of time. Here is a reverse engineering proposal to familiarize yourself with scientific software. Steps for analyzing software documentation and design and identifying potential improvements are shown. The process is illustrated using PETGEM and the most relevant results are presented. These practices could be useful for users with no experience in software engineering and who need to delve into the source code, documentation, programming units, and explicit and hidden relationships and dependencies of design.

Key words: *petgem, reengineering, reverse engineering, scientific computing.*

Introducción

El avance tecnológico en áreas como la ciencia de materiales, algoritmos y desarrollo de software, conlleva que las aplicaciones computacionales estén presentes en muchos aspectos de nuestra vida. La ciencia e ingeniería son testigos de la inmensa evolución del poder computacional y ambas tienen en la simulación computacional y cómputo numérico dos grandes aliados para atacar una gran variedad de problemas de una complejidad tal, que hasta hace unas décadas eran prácticamente inabordables. Es tal el alcance, fiabilidad y auge del cómputo científico que la simulación computacional se ubica firmemente al lado del trabajo teórico y experimental como un tercer paradigma de la ciencia [1].

La popularidad del denominado cómputo científico obedece principalmente a dos razones. Por un lado, esta poderosa herramienta tiene un poder predictivo que en muchas ocasiones da pie a nuevos descubrimientos experimentales [1]. Por otro lado, hasta hace unas décadas, el cómputo científico estaba bastante restringido y únicamente era accesible a un puñado de expertos con acceso a infraestructura computacional muy especializada. Sin embargo, este escenario cambió drásticamente en los últimos años. Actualmente se cuenta con computadoras personales que permiten utilizar una amplia variedad de software científico. Esta combinación de poder computacional y software altamente especializado de fácil acceso, da lugar a una masificación del cómputo en el ambiente académico, científico, ingenieril e industrial [1,2].

El desarrollo de aplicaciones científicas no es trivial y dada la complejidad del mundo real, los científicos siempre están buscando nuevas formas de abordar problemas más grandes y complejos [3]. Aunque mucho del software científico se puede ejecutar en una computadora personal, para cierto tipo de problemas es inevitable utilizar una infraestructura de supercómputo. Bajo estas circunstancias es común que el software requiera de manera recurrente de prácticas de mantenimiento y refactorización que permitan incrementar su capacidad y su adaptación tanto a infraestructuras computacionales modestas como a supercomputadoras. Para el desarrollador de software científico satisfacer este tipo de necesidades implica que el software cumpla con características de eficiencia, rendimiento, escalabilidad y mantenibilidad, que dé lugar a resultados que sean fiables y reproducibles, y que, además, sea amigable con el usuario no experto, esto es, cumplir con las características de calidad [4].

Todas las características antes mencionadas son deseables y en principio todo código o software científico debería cumplirlas. Sin embargo, es un secreto a voces que la mayoría del código y software científico se realiza por científicos o ingenieros que no han recibido una formación profesional en ciencias de la computación, programación o desarrollo de software [2,3,5]. Por esto, en muchas ocasiones, este tipo de software adolece de buenas prácticas de ingeniería de software. Además, con la proliferación del software científico cada vez es más común que el usuario final no tenga conocimiento de los modelos matemáticos empleados, de programación, desarrollo de software o incluso del campo disciplinar específico. Esto ocasiona una serie de problemas que pueden iniciar desde familiarizarse e instalar el software, hasta necesidades más complejas como la refactorización, mantenimiento o extensión del mismo. Un escenario similar se presenta para aquellos usuarios que heredan un código de cómputo científico que no cumple con buenas prácticas de programación o desarrollo de software. Por ello, es crucial que los científicos que se introducen o comienzan a realizar cómputo numérico o simulación computacional, tengan presente la importancia de aprender y adaptar buenas prácticas de ingeniería de software [3,5]. La discordancia entre la necesidad de trabajar con código científico, obtener resultados en el menor tiempo posible y las habilidades y buenas prácticas de ingeniería de software, es una problemática significativa que se viene estudiando desde hace varios años [2,3,5].

Uno de los puntos cruciales en el desarrollo de software científico es el mantenimiento del código; este puede llegar a consumir del 50% al 75% del costo de un proyecto y requerir invertir hasta un 25% del tiempo total en este tipo de actividades [3]. Sin embargo, como resalta Arvanitou et al., [3], en un estudio sobre prácticas en el ámbito científico de ingeniería de software, menos del 2% de los científicos encuestados consideran o realizan actividades de mantenimiento, esto a pesar del hecho de que la mantenibilidad es una actividad importante y costosa para todo software que evoluciona con el tiempo. En este sentido, las prácticas de reingeniería e ingeniería inversa buscan facilitar el trabajo de mantenimiento perfecto, proveen al usuario de una mejor comprensión del código fuente y su comportamiento, permitiéndole profundizar en la construcción y su arquitectura, y a la par, producen la documentación necesaria para la herencia del sistema, convirtiéndose así, en un elemento de gran utilidad para usuarios inexpertos o con escasa formación en ingeniería de software [5].

Dado el interés por promover e incentivar que los desarrolladores de software científico adopten prácticas de ingeniería de software, se han realizado varias iniciativas y estudios al respecto, siendo quizá "Software Carpentry" el proyecto más representativo [5]. Por otro lado, también podemos encontrar trabajos donde se dan a conocer los procesos para aplicar reingeniería o ingeniería inversa en códigos científicos. Se tiene, por ejemplo, una propuesta para ayudar a los científicos computacionales a paralelizar de manera eficiente programas seriales [6]. En otro ejemplo, los autores remodelaron una aplicación en el área de química y desarrollaron una versión multiplataforma en un entorno gráfico que fuera más mantenible, mejor documentada y fácilmente extendible [7]. Un proceso de cuatro etapas: ingeniería inversa, reingeniería de requisitos, rediseño y refactorización, se aplicó a un software de simulación de ondas sísmicas con el objetivo de solucionar problemas de falta de documentación, dificultad para leer, comprender y mantener el código fuente, así como elucidar la dependencia entre módulos [8]. Recientemente, en un software de multifísica, se realizaron dos procesos de refactorización: a) se trasladó la generación del mallado de una librería a otra, sin afectar el comportamiento externo del software [9] y, b) se enfocaron a evaluar, mejorar y modernizar los procesos del software para que pueda adaptarse a arquitecturas de cómputo a exaescala. Los autores presentan una revisión de las prácticas y metodología que han seguido con la intención de que sirva como guía para otros desarrolladores de software [10]. Finalmente, dada la necesidad de que los desarrolladores de software científico valoren la importancia de aplicar buenas prácticas de ingeniería de software, en [11] se presentan ejemplos representativos de ingeniería inversa y reingeniería y su aplicación práctica con estudiantes.

Debido a la importancia que toman las buenas prácticas de ingeniería de software en el desarrollo y mejora de sistemas, la finalidad de este trabajo es abordar un proceso de reingeniería e ingeniería inversa de un software científico en el área de geofísica (PETGEM). Al ser un software que se desempeña en un área particular e intenta dar solución a problemas muy específicos este trabajo presenta una solución práctica para ampliar el entendimiento de su configuración, instalación, librerías de software científico, paradigmas de programación, características implícitas del diseño y bases teóricas en las que está fundamentado. También, se contribuye mostrando claramente el proceso seguido y como este, de igual forma, puede ayudar a identificar y explorar potenciales mejoras al funcionamiento y optimización del código. A su vez, se espera que este trabajo pueda servir de guía a usuarios sin experiencia que se adentran al uso de software científico para realizar un análisis similar. La estructura del trabajo está organizada de la siguiente forma: en la siguiente sección se introduce una descripción general de las características y funcionamiento del software analizado. Después se aborda la metodología de ingeniería de software implementada. Posteriormente, se presentan y discuten los resultados obtenidos más relevantes. Finalmente, se presentan las conclusiones y trabajo futuro.

Software analizado: PETGEM

El presente estudio consiste en un proceso de reingeniería e ingeniería inversa al modelador electromagnético PETGEM (*Parallel Edge-based Tool for Geophysical Electromagnetic Modeling*). PETGEM fue concebido con el objetivo de atender una relativa escasez de códigos robustos que den solución al método electromagnético de fuente controlada. Se emplea con fines de exploración geofísica y se enfoca en dar solución al método electromagnético de fuente controlada y método magnetotélico, ambos en tres dimensiones. Además, permite realizar simulaciones de escenarios reales y geológicas complejas, proporciona resultados sintéticos que pueden ser comparados con datos reales [12,13]. Utiliza mallas tetraédricas no estructuradas para una mejor representación de terrenos y superficies complejas, aplicando el método de elementos finitos vectoriales de alto orden a fin de obtener una mejor solución numérica.

Entorno y plataforma de desarrollo

PETGEM es una herramienta de software en código abierto, actualmente activo y en constante desarrollo, elaborado por el Centro de Supercómputo de Barcelona. Puede ejecutarse en un ambiente Linux tanto en computadoras de escritorio como en infraestructura computacional de alto rendimiento. Para el desarrollo de la plataforma se usa Python 3, con la incorporación de librerías como *Numpy* y *Scipy* para el manejo de matrices y cálculos numéricos [12,13]. También utiliza la librería Portable Extensible Toolkit for Scientific Computation (PETSc) y en específico *petsc4py*. Para la paralelización del software se emplea el estándar Message Passing Interface (MPI) y en particular *mpi4py* [12-14].

La Figura 1 muestra el flujo de trabajo de PETGEM, el cual consta de tres procesos principales, manual, secuencial y paralelo, y diez módulos Python que conforman el sistema.

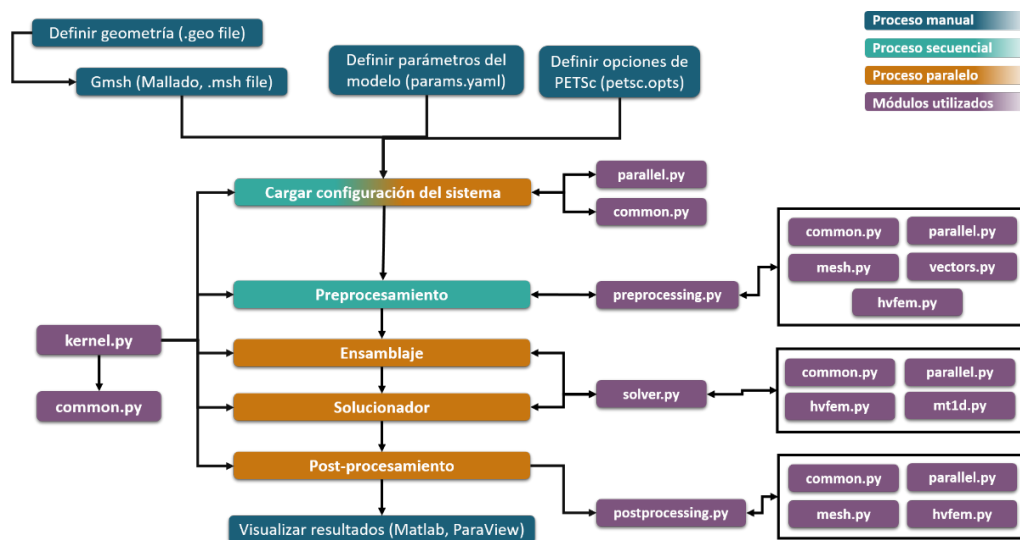


Figura 1. Esquema representativo del flujo de trabajo en PETGEM.

En una vista de alto nivel, la herramienta agrupa sus módulos en tres categorías: de usuario (*Mesh*, *Model parameters* y *Solver parameters*), genéricos (*Parallel I/O*, *Assembler* y *Solver*), y específicos (*Data preprocessing*, *Source module* y *Data postprocessing*) [14]. Sin embargo, cada sub-módulo realiza llamados a una importante cantidad de funciones, contando con un total de 93 programas. Los archivos que maneja son principalmente de tipo plano “.dat” (11) y seis de otros formatos (1-yaml, 1-opts, 1-msh, 2-h5 y 1-vtk), y aunque no se utiliza un esquema relacional dadas las demandas del proceso intensivo, los datos guardan relaciones entre sí al modelar el dominio.

El sistema está abierto a contribuciones, dispone de documentación para iniciar con el uso del software: guías de usuario, guía para la comunidad de contribución y además una guía rápida. En este sentido, debido a que la orientación inicial fue abordar problemas de orden numérico bajo un enfoque modular, la herramienta cuenta con explicaciones técnicas de apoyo sin formalizar la ingeniería del software. Los desarrolladores tienen previsto incrementar las prestaciones del sistema, así como considerar nuevas contribuciones de los usuarios. Esto supone un desafío pues la implementación en sistemas heredados generalmente contiene, de manera no visible, aspectos importantes en su diseño que deben considerarse tanto para el ajuste de nuevos módulos como para su alineamiento a la herramienta en general [15]. Derivado de lo anterior, se observan dos grandes necesidades: 1) documentar el modelado del sistema, y, 2) identificar estrategias para facilitar nuevas aportaciones; siendo éstos los objetivos del estudio.

Metodología

El proceso metodológico (Figura 2), contempla tres fases: a) Preparación del espacio de estudio, que consiste en la instalación local del sistema y la realización de pruebas, para contar con un ambiente que permita el estudio detallado del código de PETGEM, sin afectar su operación en un clúster de supercómputo; b) Ingeniería inversa, para extraer información desde el código, que permita comprender los componentes y sus interrelaciones, produciendo representaciones diagramadas en un nivel de abstracción más alto, que documenten el diseño de PETGEM; y, c) Evaluación estratégica de mejora, que consiste en analizar los modelos producidos desde la ingeniería inversa y establecer el estado actual del diseño, realizando un análisis de sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, para definir estrategias que sirvan como base para una reingeniería futura.

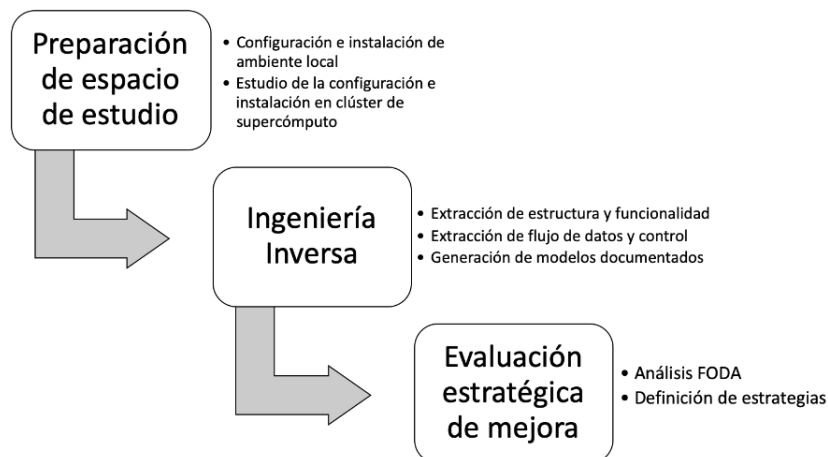


Figura 2. Proceso metodológico utilizado en el caso PETGEM.

Desarrollo

Para la aplicación del proceso metodológico se adaptaron algunas técnicas convencionales del análisis y diseño de sistemas, mismas que se explican a continuación.

Preparación del espacio de estudio: se llevó a cabo la configuración e instalación de PETGEM a nivel local y se realizó la instalación en un clúster de supercómputo con la finalidad de disponer de alternativas para las pruebas funcionales que permitan el análisis de comportamiento y la revisión de archivos creados.

Ingeniería inversa: se aplicó una adaptación del proceso clásico de la ingeniería inversa [16], incluyendo la ejecución de las siguientes actividades:

1. **Extracción de estructura y funcionalidad:** se ejecutó la lectura y revisión detallada del código, elaborándose los inventarios de unidades de programación y archivos. Sobre las unidades de programación se extrajo información acerca de funcionalidad, parámetros de entrada y salida (uso y tipo), y archivos que utilizan (uso y si son de salida, entrada o temporales). Sobre los archivos, se integró el tipo y la descripción del uso, además se completó un diccionario detallado de los campos identificables (uso y tipo).
2. **Extracción de flujo de datos y control:** se elaboró un diagrama de paquetes y uno de estructura, que representan los módulos, sus flujos de control, el paso de parámetros y valores de retorno [17]. Para ello se utilizó UML (*Unified Modeling Language*) como lenguaje de representación estándar que permite integrar las representaciones funcionales, de despliegue y realización, principalmente en sistemas orientados a objetos, ya que PETGEM hasta cierto nivel, se apega parcialmente a este paradigma.
3. **Generación de modelos documentados:** se elaboraron dos modelos, el modelo Entidad-Relación (E-R) para la representación de la información y sus relaciones [18], y el modelo de arquitectura por capas, ambos modelos develan las relaciones no explícitas, involucradas en el diseño de PETGEM.

Evaluación estratégica de mejora. Con base a los resultados y observaciones recabadas de la ingeniería inversa realizada, se elaboró un análisis FODA sobre el estado del diseño e implementación de PETGEM, para establecer estrategias que permitan fortalecer el esquema abierto de aportación a la herramienta, en términos de la mantenibilidad.

Resultados y discusión

Preparación del entorno computacional

El primer desafío que muchos usuarios inexpertos de software científico enfrentan es la preparación del entorno computacional para la instalación del software. Esto, quizá, para los desarrolladores o gente con experiencia en ingeniería de software pudiera ser una tarea trivial, pero basta buscar un poco en las listas de usuarios de software científico para convencerse que gran parte de los usuarios tienen serias dificultades con la correcta instalación del software. Dado que el proceso de configurar e instalar un código puede generar retrasos de varios días o semanas, la primera contribución de este trabajo fue generar dos guías de instalación de PETGEM: una para un entorno personal, esto es, computadora de escritorio o portátil con varios núcleos de procesamiento y otra guía para infraestructura de supercómputo. La experiencia del primer autor es que se puede llegar a tener problemas con las librerías y dependencias que requiere PETGEM, de esto derivan las siguientes recomendaciones para el caso:

Recomendaciones para instalación en computadoras de uso genérico: lo primero es tener claro que PETGEM debe ser instalado en un entorno Linux y preferentemente utilizar una instalación nueva y limpia para evitar cruces entre versiones de dependencias o compiladores. Quizá la parte más delicada es la correcta instalación de PETSc. Antes de comenzar la configuración de PETSc es necesario instalar versiones recientes del entorno y, aunque algunas son opcionales, para el caso y en la experiencia lograda, se sugiere: Python 3, Make, compiladores de C y C++ y Fortran, Git, Valgrind, Bison, Flex, libopenmpi-dev, Numpy y Scipy. Para que PETGEM tenga acceso a todas las herramientas de PETSC, se utiliza la dependencia `petsc4py`, por lo que las versiones deben coincidir. El último punto se relaciona con el estándar MPI. Debemos asegurarnos de tener la misma versión que la utilizada por PETSc y el sistema operativo, o bien, se puede instalar MPICH por separado y utilizarla para construir PETSc.

Recomendaciones para instalación en supercomputadoras: en primer lugar, es necesario familiarizarse con la operación del entorno, estudiar el software que permite el acceso al clúster y cómo lo realiza, así como el manejo de los módulos de software y los recursos disponibles. En este caso, no se recomienda dejar que la configuración de PETSc decida la instalación y versión de MPICH, ya que esto puede causar problemas posteriores. Se recomienda la versión 3 en adelante y si no se cuenta con una instalación de MPICH, se debe instalar manualmente como módulo o en la carpeta local de usuario, pero es importante tenerla antes de instalar PETSc. Al momento de configurar el comando de instalación, debemos sustituir la bandera `download-mpich` por `--with-mpi-dir`, donde especificaremos la ruta de la configuración de MPICH. También a causa de este cambio, se deben eliminar las banderas de los compiladores `gcc`, `g++` y `gfortran`. Las instalaciones de Python que existen en un clúster, podrían o no contar con todas las dependencias que se necesitan. Dentro de PETGEM se utilizan las dependencias `PyYAML` y `Colorama`, por lo cual es importante comprobar que estén instaladas.

Ingeniería Inversa

En el ámbito de la computación científica es muy común que el usuario se vea enfrentado a trabajar con un software o heredar un código del cual tiene poco o nulo conocimiento de su funcionamiento. Por este motivo, para entender a profundidad el código, el primer paso recomendado es recopilar y leer a detalle la documentación disponible. En el caso de PETGEM, se recopiló información y la guía de usuario del sitio oficial [14], así como del trabajo doctoral del desarrollador principal [12] y de artículos de divulgación y científicos donde se abordan las características generales, funcionamiento y estudios de casos prácticos [13].

A continuación se obtuvo un inventario detallado de cada una de las unidades de programación que conforman el sistema. Considerando los siguientes datos por cada unidad: identificación en azul (nombre; si es un método o un constructor se obtiene el nombre de la clase, módulo empaquetado del que proviene y descripción de la funcionalidad); archivos que manipula en amarillo (nombre; tipo de archivo: entrada, temporal o salida); parámetros (identificador, tipo de dato: string, int, etc., uso del parámetro: entrada, salida, significado dado en la funcionalidad); e inter-relaciones en naranja (nombre de las unidades de programación o módulos, y relación de llamado: padre o hijo). En la Figura 3 se muestra una porción de este registro, que finalmente comprendió 93 unidades en total.

Unidad	Objeto	Paquete	Descripción	Archivos	Operación	Parámetros	Tipo dato	Tipo de parámetro	Uso del parámetro	Significado del parámetro	PADRE	HIJOS
<code>__init__(self)</code>	MPIEnvironment()	parallel.py	En el constructor de la clase MPIEnvironment() se configura el entorno paralelo, que va a ser utilizado para paralelizar las diferentes secciones del código, con ayuda del estándar MPI y la librería mpi4py								kernel.py run(self) - preprocessing.py master(self) - common.py header(self) - common.py run(self) - postprocessing.py run(self) - preprocessing.py setup(self) - solver.py assembly(self) - solver.py	
<code>createSequentialDenseMatrixWithArray()</code>		parallel.py	Dada una matriz de entrada, crea una matriz densa secuencial en formato Petsc			dimension1 dimension2 data parallel_matrix	Int Int Matriz de datos Objeto petsc	Entrada Entrada Entrada Salida	Procesado Procesado Procesado Procesado	Filas de la matriz de datos Columnas de la matriz de datos Matriz de datos Matriz paralela en formato petsc	run(self) - preprocessing.py	
<code>writeParallelDenseMatrix()</code>		parallel.py	Escribe una matriz densa paralela de Petsc cuyo formato está definido por dos archivos: archivo_salida.dat y archivo_salida.info	Archivos.dat	Temporal	output_file data	Str Matriz de datos	Entrada Entrada	Procesado Procesado	Nombre y ruta para guardar el archivo .dat Matriz densa que se va a guardar	run(self) - preprocessing.py	
<code>createSequentialVectorWithArray()</code>		parallel.py	Dada una matriz de entrada, crea un vector secuencial en formato petsc			communicator=None data parallel_vector	Str Array de datos Objeto petsc	Entrada Entrada Salida	Procesado Procesado Procesado	Comunicador MPI Matriz de datos Vector paralela en formato petsc	run(self) - preprocessing.py	

Figura 3. Inventario de unidades de programación de PETGEM.

Posteriormente se elaboró el inventario de archivos de datos (Figura 4), para el cual se consideró la información general como el nombre del archivo, tipo de archivo (extensión), uso (entrada, temporal, salida), configuración, descripción y observaciones generales. Mientras que en la información por cada dato interno se incluye el identificador del dato, descripción, tipo de dato, longitud, y observaciones (restricciones o configuración). Se integraron 17 archivos en total.

Archivo	nodos		Uso	Temporal
Tipo	DAT (.dat)		Configuración	Los datos son estructurados en un array de dos dimensiones de punto flotante.
Descripción	Valores de punto flotante que dan las coordenadas X, Y y Z de los cuatro nodos que componen cada elemento tetraédrico en la malla. Las dimensiones de nodos.dat están dadas por (número de elementos, 12).			
Observaciones generales	La matriz contiene 12 columnas, cada tres columnas representan las coordenadas X, Y y Z de cada nodo que forma el elemento.			
*Nombre	Descripción	Tipo	Longitud	Observaciones/ Restricciones/ Configuración
filas	Cada fila representa un elemento en la malla (tetraedro).			
columnas 1, 2 y 3	Coordenadas X, Y y Z del primer nodo que forma el elemento.	float		
columnas 4, 5 y 6	Coordenadas X, Y y Z del segundo nodo que forma el elemento.	float		
columnas 7, 8 y 9	Coordenadas X, Y y Z del tercer nodo que forma el elemento.	float		
columnas 10, 11 y 12	Coordenadas X, Y y Z del cuarto nodo que forma el elemento.	float		

Figura 4. Inventario de archivos de datos de PETGEM.

El estudio y análisis de la implementación de PETGEM es la base que permite interpretar el diseño del funcionamiento interno del código y extraer la estructura del flujo de datos y control. Utilizando la herramienta Lucidchart se crearon dos representaciones: a) un diagrama de paquetes, donde se presentan las unidades de programación por cada módulo y cómo se conectan entre ellos (Figura 5), y, b) un diagrama de estructura, que evidencia la interacción de llamados y las condiciones bajo las cuales se presentan. En la Figura 6, sólo de manera ilustrativa, se muestra el diagrama completo y una extracción para dimensionar la estructura de PETGEM y visualizar de manera detallada la notación aplicada.

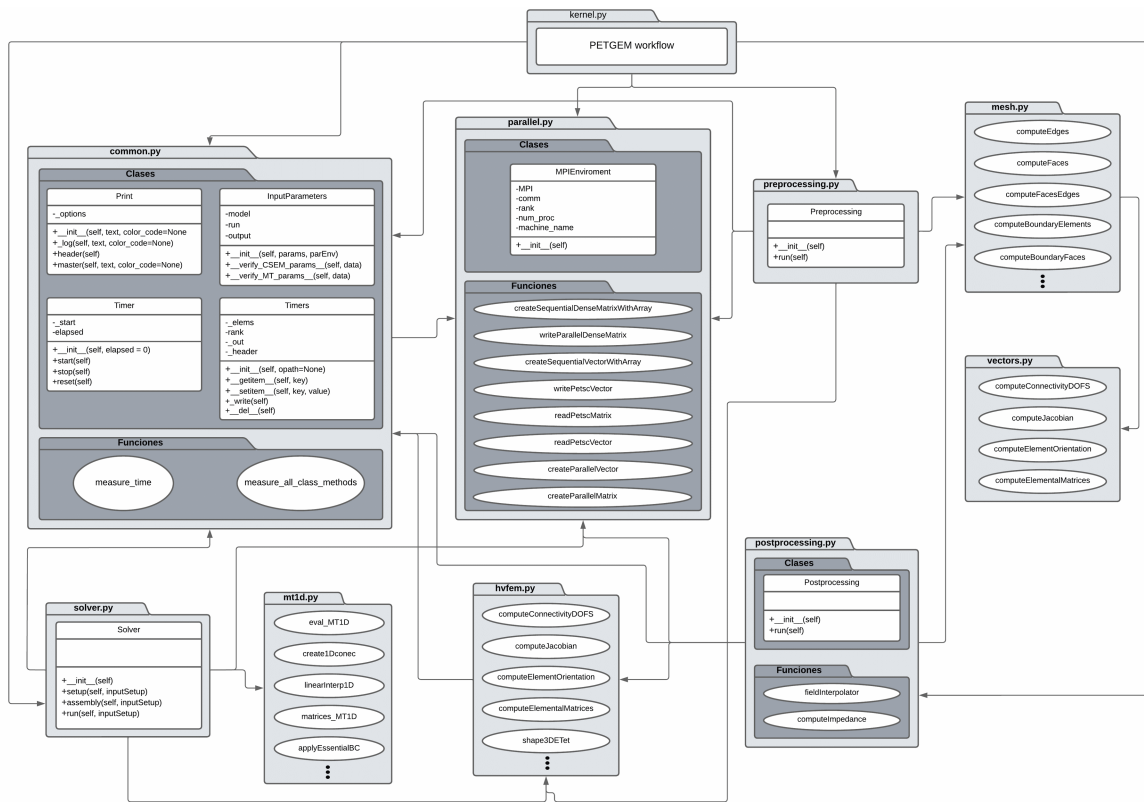


Figura 5. Diagrama de paquetes de PETGEM

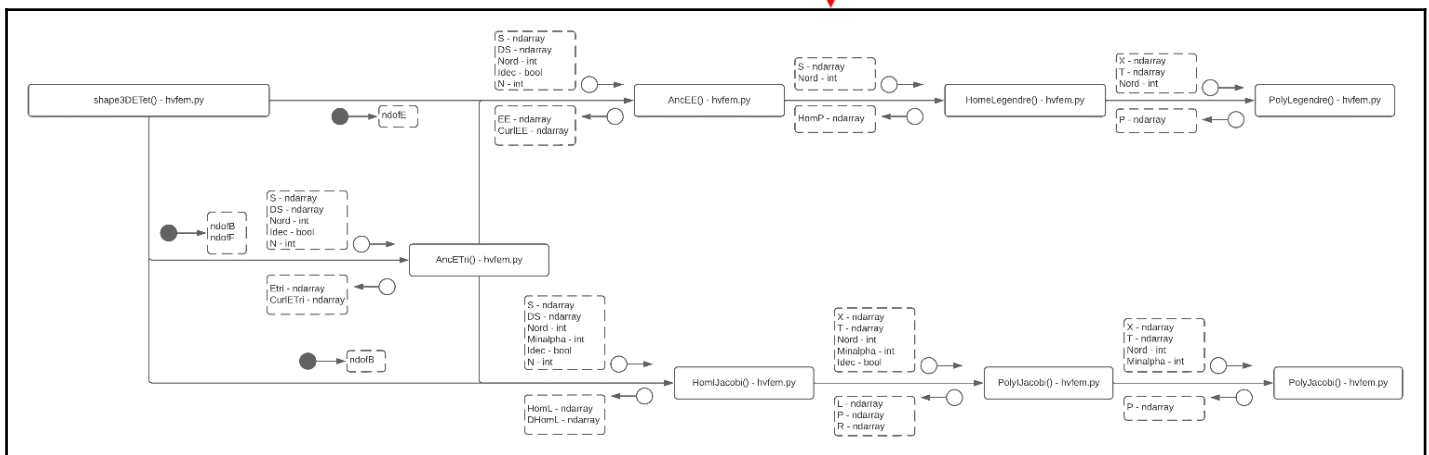
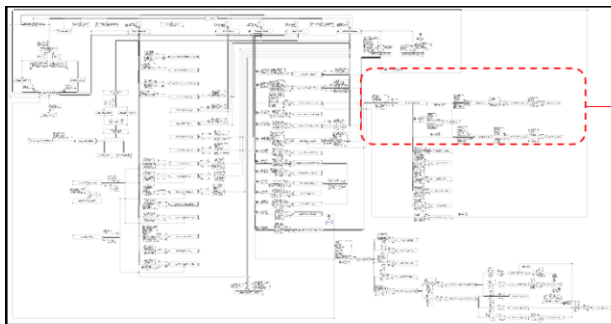


Figura 6. Imagen representativa del diagrama de estructura

Con la estructura clara de los flujos y la información, se procedió a elaborar modelos de un nivel de abstracción mayor de los datos, para lo cual se construyó el diagrama Entidad-Relación que modela el dominio de los datos y sirve para comprender las relaciones no explícitas entre la información manejada por PETGEM (Figura 7).

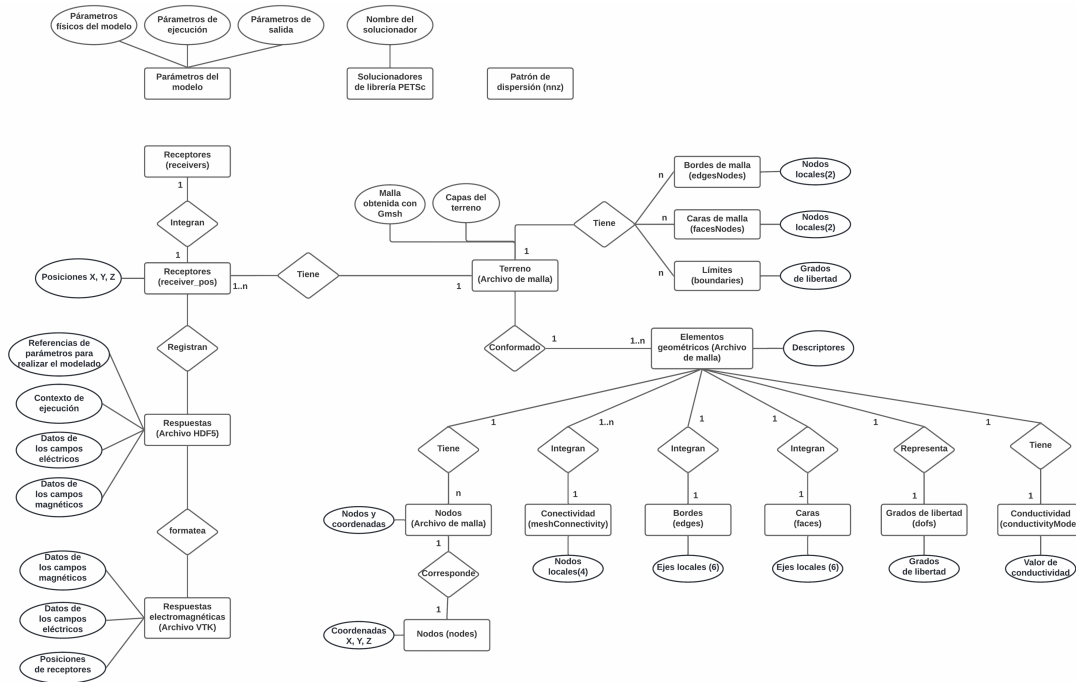


Figura 7. Diagrama E-R elaborado a partir del inventario de archivos de PETGEM.

Con la finalidad de identificar la arquitectura general se construyó el diagrama de capas que muestra la organización del sistema (Figura 8a) y el diagrama de flujo funcional general, representando los pasos funcionales requeridos para el modelado que pretende PETGEM (Figura 8b). El diseño recuperado expresa y detalla el estado actual de PETGEM, dado que, la ingeniería inversa no contempla cambios, sólo el proceso de examinar el sistema sin modificar su funcionalidad [19].

Evaluación estratégica de mejora

Una vez concluida la ingeniería inversa, se procedió a realizar un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) sobre el diseño e implementación de PETGEM. Se identificaron como principales fortalezas la eficacia lograda, la integración y reutilización de librerías de uso científico y el aprovechamiento del cómputo paralelo, lo que potencia en cierta medida la escalabilidad. Por otro lado, las debilidades son la nula documentación de los modelos de ingeniería que respaldan su diseño, la falta de apego a un paradigma específico en su implementación, ya que una parte se encuentra orientada a objetos y la gran mayoría es modular, además de no contar con la identificación y asignación clara de los requerimientos no funcionales relacionados con la calidad del software.

Asimismo, las oportunidades se ven reflejadas en el modelo de ciencia abierta, donde esta herramienta se encuentra como libre y disponible a recibir contribuciones, lo que puede permitir una interacción dinámica entre la comunidad científica. Otras oportunidades se visualizan en los patrones de diseño que permitirían reestructurar el software adecuándolo a ser reutilizable y mejorando su mantenibilidad; en la refactorización de código para evaluar las instrucciones numéricas y su efecto en el rendimiento temporal del sistema y en las métricas de complejidad algorítmica y los árboles que se pueden construir a partir de ello, para evaluar el impacto de aquéllas con mayor aportación al tiempo, como lo son las instrucciones I/O hacia el almacenamiento. Finalmente, la principal amenaza es la dificultad que representan para las contribuciones abiertas, las debilidades en el diseño, y que, dichas aportaciones sigan propiciando el aumento de la deuda técnica que se presenta en la ingeniería del software.

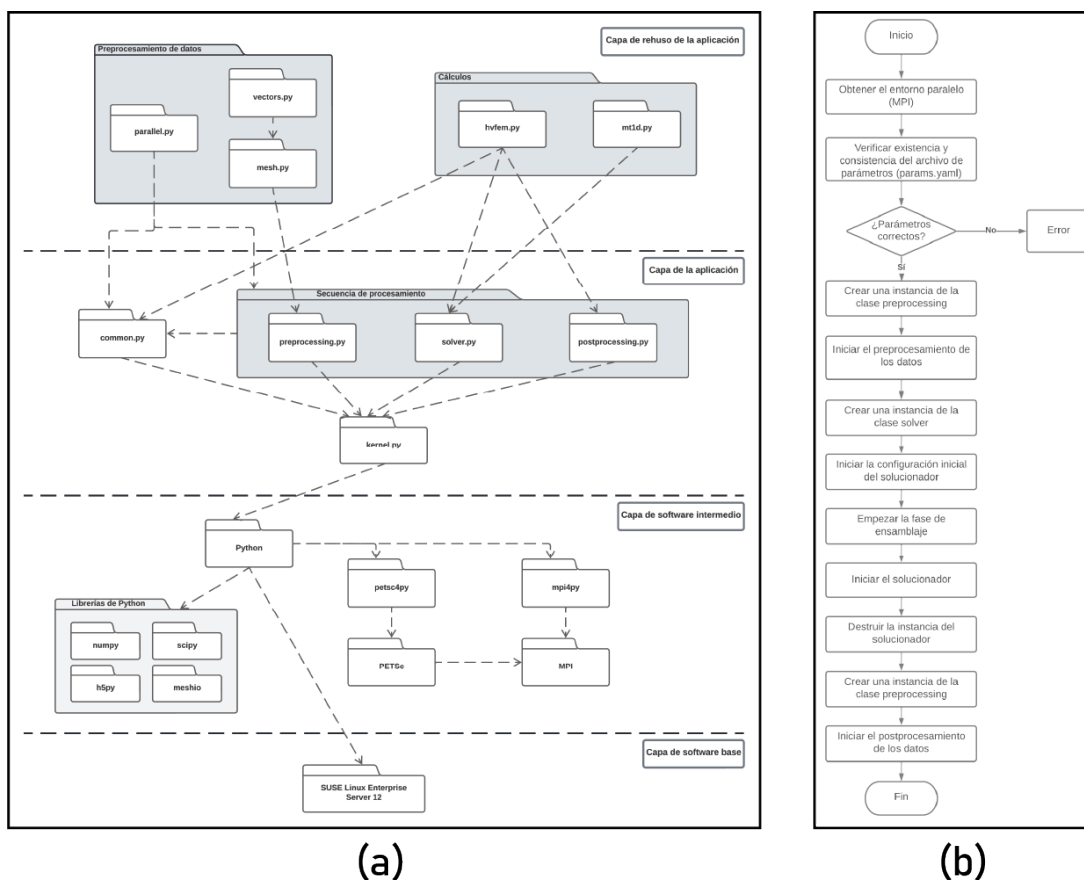


Figura 8. Diagrama de capas y de flujo general de PETGEM

Trabajo Futuro

Gracias a la aplicación de la ingeniería inversa y las técnicas de ingeniería de software, se obtuvo una visión más clara y amplia del software científico PETGEM. Esto permitió identificar los aspectos internos (fortalezas y debilidades) y externos (oportunidades y amenazas) relativos a su diseño e implementación, además de generar documentación técnica complementaria a las guías pre-existentes, presentando aspectos implícitos no visibles al momento para los usuarios o potenciales contribuyentes.

Con base al análisis FODA, se consideran tres objetivos estratégicos inmediatos para el caso de estudio PETGEM, que son: 1) evaluar la complejidad temporal del software de manera segmentada, para identificar la distribución de cargas de procesamiento dada la paralelización, y los módulos que serían potenciales candidatos a una refactorización; 2) con esta base, analizar la factibilidad de dicha refactorización del código, además con las métricas que se hubieren definido, sería posible probar el impacto en caso de su aplicación, y, 3) realizar un estudio de factibilidad sobre la reingeniería basada en patrones de diseño, que permita reconceptualizar y generar la ingeniería hacia delante de una versión de PETGEM bajo paradigmas orientados a la reutilización de código fuente.

Conclusiones

El objetivo principal del trabajo se cumplió. Se detallaron los pasos seguidos en un proceso de ingeniería inversa para evaluar potenciales mejoras en el ámbito del software científico. Se adaptaron técnicas particulares de la ingeniería de software para elaborar modelos que respaldan el diseño e implementación, contribuyendo con esto, al pago de la deuda técnica muy común en este tipo de software. Además, se cumplió con la finalidad establecida para PETGEM de estudiar el software de manera sistemática y documentar la ingeniería, utilizando el conocimiento adquirido para identificar una estrategia de mejora que cuente con las bases suficientes para derivar ya sea en una refactorización o en una intervención mayor a nivel de reingeniería. Buscando en ambos casos, la mejora en rendimiento temporal, el mejor aprovechamiento de la infraestructura de supercómputo y favorecer las contribuciones abiertas.

Agradecimientos

El autor M. A. Tapia-Arcos agradece a Conacyt por la beca de maestría 2020-000026-02NACF-06292 con la cual se desarrolla el presente trabajo. Todos los autores agradecen el apoyo al Centro de Análisis de Datos y Supercómputo (CADS), ubicado en Zapopan, Jalisco, por el apoyo en la configuración e instalación de PETGEM en el clúster de supercómputo Leo Átrox.

Referencias

- [1] J. Wong-ekkabut and M. Karttunen, "The good, the bad and the user in soft matter simulations," *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, vol. 1858, no. 10, pp. 2529–2538, 2016.
- [2] D. Leroy, J. Sallou, J. Bourcier, and B. Combemale, "When Scientific Software Meets Software Engineering," *Computer*, vol. 54, no. 12, pp. 60–71, 2021.
- [3] E.-M. Arvanitou, A. Ampatzoglou, A. Chatzigeorgiou, and J.-C. Carver, "Software engineering practices for scientific software development: A systematic mapping study," *Journal of Systems and Software*, vol. 172, p. 110848, 2021.
- [4] ISO/IEC 25010 - *System and software quality models*.
- [5] G. Wilson, "Software Carpentry: Getting Scientists to Write Better Code by Making Them More Productive," *Computing in Science & Engineering*, vol. 8, no. 6, pp. 66–69, 2006.
- [6] M. Almosy and J. Grundy, "Supporting Scientists in Re-engineering Sequential Programs to Parallel Using Model-Driven Engineering," *2015 IEEE/ACM 1st International Workshop on Software Engineering for High Performance Computing in Science*, pp. 1-8, 2015.
- [7] J.-C. Álvarez-García, M. Mateos Sánchez, y M. N. Moreno García "Metodología de reingeniería del software de aplicaciones científicas heredadas," *Informe Técnico*, pp. 22, 2004.
- [8] Y. Li, "Reengineering a scientific software and lessons learned", *Proceedings of the 4th International Workshop on Software Engineering for Computational Science and Engineerin SECSE '11*, pp. 41-45, 2011.
- [9] J. O'neal, K. Weide, and A. Dubey, "Experience report: refactoring the mesh interface in FLASH, a multiphysics software," *2018 IEEE 14th International Conference on e-Science (e-Science)*, pp. 1-6, 2018.
- [10] A. Dubey, J. O'neal, K. Weide, and S. Chawdhary, "Distillation of Best Practices from Refactoring FLASH for Exascale," *SN Computer Science*, vol. 1, no. 4, 2020.
- [11] R. Juárez-Ramírez, G. Licea, y A. Cristóbal-Salas "Ingeniería Inversa y Reingeniería Aplicadas a Proyectos de Software Desarrollados por Alumnos de Nivel Licenciatura," *Sistemas, Cibernética e Informática*, vol. 4, no. 2, pp. 48-53, 1690–8627, 2007.
- [12] O. Castillo-Reyes, "Edge-elements Formulation of 3D CSEM in Geophysics: A Parallel Approach," *Tesis de doctorado, Polytechnic University of Catalonia*, 2017.
- [13] O. Castillo-Reyes, et. al., "PETGEM: A parallel code for 3D CSEM forward modeling using edge finite elements," *Computers & Geosciences*, vol. 119, pp. 123–136, 2018.
- [14] Barcelona Supercomputing Center [BSC], "PETGEM Parallel Edge-based Tool for Geophysical Electromagnetic Modelling", <https://petgem.bsc.es>.
- [15] M. Moraga, and Y. Yang Zhao, "Reverse engineering a legacy software in a complex system: A systems engineering approach", *28th annual INCOSE intenational symposium*, Washington, DC. USA, July 7-12, 2018.
- [16] M. Majithoub, M. H. Qutqut, and Y. Odeh, "Software Re-engineering: An Overview", *8th International Conference on Computer Science and Information Technology (CSIT)*, 2018.
- [17] E. Yourdon, "Análisis estructurado moderno", México, Edit. Prentice Hall, 1996.
- [18] M. D. Atangana, y R. Sepúlveda Lima, "Métodos de ingeniería inversa para bases de datos relacionales", *Ingeniería Industrial*, vol. XXVII, no. 2-3, pp. 40-46, 2006.
- [19] M. Afshar Alam and T. Padenga, "Application Software Reengineering". *Pearson Education*, India, 2010.

SISTEMA SCADA DE BAJO COSTO PARA INVERNADEROS 4.0

Rodríguez-Zepeda, Alan ¹, Verduzco-Ramírez, Jesús Alberto¹, Evangelista-Salazar, M. E.², García-Díaz, Noel¹, Gutiérrez-Valenzuela Ricardo¹

¹Tecnológico Nacional de México / Campus I. T. Colima
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Av. Tecnológico No. 1, Villa De Álvarez, Col. C.P. 28976, Colonia Liberación
²Universidad de Colima / Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Av. Universidad No. 333, Las Víboras; CP 28040 Colima, Colima, México

Área de participación: *Sistemas Computacionales.*

Resumen

El sector horticultural en México crea cientos de miles de empleos y su importancia crece a diario. Sin embargo, la transferencia de tecnología en el sector no ha tenido el mismo crecimiento debido al alto costo que supone para los productores a pequeña escala.

El objetivo de este trabajo es presentar el diseño de un sistema SCADA de bajo costo, siguiendo el Proceso Ágil Unificado, que brinda a productores medios para acceder a información vital sobre las variables físicas y el estado de equipos dentro de las zonas de producción en tiempo real, además de controlar los equipos de manera remota.

Entre los resultados principales, se obtuvo un prototipo funcional de un sistema SCADA de bajo costo y uso libre que sirve como base para la adopción de tecnologías nuevas en el campo agrícola y hortícola, que además ayuda a pavimentar el camino para futuros desarrollos.

Palabras clave: *SCADA, plantas ornamentales, monitoreo, control.*

Abstract

The horticultural sector in Mexico creates hundreds of thousands of jobs and its importance grows day by day. However, the implementation of technology in the sector hasn't had the same growth due to the high costs for small scale producers.

The objective of this work is to present the design of a low cost SCADA system, following the Agile Unified Process, that provides producers with the means to access vital information about the physical variables and the state of the equipment inside the production zones in real time, in addition to controlling the equipment remotely.

Along the principal results, a functional prototype was developed for a low cost and open source SCADA system that functions as a stepping stone for the adoption of new technologies in the agricultural and horticultural field, while also paving the way for future developments.

Key words: *SCADA, ornamental plants, monitoring, control.*

Introducción

En México, el sector hortícola ha demostrado ser de gran importancia, de 2001 a 2020 la superficie total de cultivo del segmento se ha incrementado de 132 ha a 55, 000 ha., [1] dividido por el método utilizado para cultivar, el primero es el método tradicional también llamado a cielo abierto donde el cultivo se siembra y desarrolla directamente en el suelo y bajo el sol, el segundo es dentro de un invernadero llamado horticultura protegida, permite a los productores modificar las variables ambientales como humedad, temperatura, luz solar, etc., y es una alternativa viable para ayudar a promover el desarrollo de los cultivos, aumentar la productividad y obtener productos durante todo el año [2].

El sector ornamental del segmento hortícola cuenta con más de 20, 000 productores donde la mayoría se categoriza en la pequeña y micro escala [3] y cuando se trata de extensión de tierra destinada al cultivo de plantas y flores, México se ubica dentro de los tres primeros lugares a nivel mundial con más de 20, 000 ha de tierra de cultivo tradicional y alrededor de 2, 340 ha de invernaderos [1].

La producción de flores y plantas en el país es liderada por los estados de Morelos, Ciudad de México, Jalisco, Estado de México y Puebla con el 90% de la producción total valuada en 10 mil 720 millones de pesos (MXN) en el mercado nacional y alrededor de 77 millones de dólares (USD) en exportaciones, el mercado de exportación consiste en 96.7% a Estados Unidos de América y 3.3% a Canadá [4].

Este sector es también una importante fuente de empleos para los trabajadores mexicanos ya que genera más de 250, 000 empleos directos siendo alrededor del 60 % mujeres trabajadoras y casi 1 millón de empleos indirectos [5].

La tecnología siempre ha sido un componente esencial en el desarrollo de la humanidad, especialmente en los últimos dos siglos [6]. Las innovaciones se desarrollan para generar beneficios a quienes las adoptan, pero la naturaleza y magnitud de estos beneficios varía según el individuo y situaciones como la información de la que dispone el tomador de decisiones y el entorno económico. Para maximizar esos beneficios, es importante que las innovaciones tengan en cuenta las necesidades reales del consumidor, ya que es más probable que estas se adopten con éxito cuando ahorran el uso de productos costosos y/o estimulan el uso de productos de bajo costo [7].

Desde la última década se han producido constantes avances en la tecnología para la agricultura, como sensores, dispositivos, máquinas y tecnología de la información, dando paso a la revolución agrícola o Agricultura 4. 0, una de las tendencias que viene con esta revolución y que está trastocando el sector, es la incorporación de tecnologías y aplicaciones transversales como el Internet de las Cosas (IoT), la automatización de las tareas y de la mano de obra donde las operaciones se hacen a distancia, los procesos se automatizan, los riesgos se identifican y los problemas se resuelven, así como la agricultura basada en datos para analizar la información y los datos históricos para ayudar a los productores a tomar decisiones más informadas [8].

La tecnología IoT ha cimentado su valor para la vida humana moderna, siendo adoptada en una variedad de ámbitos, como los hogares y electrodomésticos inteligentes, el transporte, la industria, la energía, la salud, la defensa y, por supuesto, la agricultura, acuñando el término Agricultura de Precisión (AP). Una de las aplicaciones más comunes del IoT en la agricultura es la creación de redes de sensores donde los datos se envían desde los nodos sensores mediante dispositivos de comunicación intermedios (*gateways*) a un servidor remoto para su monitorización y control de la producción desde un ordenador o un *smartphone*, los datos también son almacenados, procesados y enriquecidos para generar información útil que sirva de apoyo en la toma de decisiones [9]. Para dar un paso más hacia la automatización, se deben implementar métodos para operar dispositivos o maquinaria a distancia. Teniendo en cuenta la incorporación de tecnologías transversales, se utilizan ampliamente sistemas que permiten a los operadores tanto monitorear como operar los procesos de una planta industrial.

La automatización industrial se basa en los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) para controlar, supervisar y operar las plantas de forma remota, estos han evolucionado para incluir características como el historial, las alarmas y el manejo de eventos y para interactuar con tecnologías como los sistemas de gestión de bases de datos (DBMS) y las interfaces hombre-máquina (HMI) [10].

Los sistemas SCADA en las grandes aplicaciones han demostrado mejorar la seguridad, la fiabilidad y las métricas de las empresas de servicios públicos y favorecer el resultado final. Históricamente, solo las grandes empresas de la industria y las empresas de servicios públicos han aprovechado estos beneficios mediante la implementación de este tipo de sistemas [11], sin embargo, hoy en día estos beneficios se pueden obtener mediante implementaciones de SCADA a pequeña escala sin necesidad de una infraestructura y tecnología costosas.

Trabajos relacionados

Los sistemas SCADA son ampliamente utilizados en la industria, sin embargo, la mayoría de las opciones comerciales utilizan software propietario y vienen con altos costos y complejidad para ser utilizados en aplicaciones de pequeña escala, debido a esto y a las ventajas que este tipo de sistemas proporcionan, los investigadores están trabajando en el desarrollo de sistemas SCADA de pequeña escala y de código abierto, por ejemplo: V. Scholl Y R. Rocha [10] diseñaron un Embedded SCADA for Small Applications (ESSA) con el objetivo de proporcionar un sistema SCADA para aplicaciones embebidas y científicas capaz de ejecutarse en microcomputadoras como la Raspberry Pi (RPI) y en hardware *System on a Chip* (SoC) y ser capaz de comunicarse no solo con hardware industrial remoto sino con microcontroladores como Arduino y NodeMCU. Los criterios de diseño fueron que fuera ligero para ejecutarse en ordenadores de baja potencia de procesamiento, que fuera multiplataforma, que proporcionara al menos etiquetas, controladores y capacidades de almacenamiento de datos, que permitiera a los desarrolladores crear HMI interactivas e intuitivas mediante widgets con la API Qt, que tuviera soporte para diferentes protocolos de comunicación al menos para los más comunes y, por último, que fuera extensible, permitiendo a los usuarios crear e incorporar sus propios componentes para adaptar el software a sus necesidades.

Investigadores de la Universidad Memorial de Terranova en Canadá: Sarinda, Iqbal y Mann [12] compararon y documentaron opciones de SCADA de código abierto de bajo costo para monitorear y controlar inversores, en el lado del cliente, las opciones se basaron en las siguientes tecnologías : ESP12E, Arduino + escudo WiFi y Raspberry Pi, en el lado del servidor, las opciones eran un servidor Raspberry Pi con almacenamiento de datos local, software SCADA de código abierto como RapidScada, PV Browser y Mango, proveedores de servicios IoT como UBIdots, Thingspeak y Blynk, la última opción era un servidor IoT privado (Blynk privado, Netlab tool kit privado, Thingspeak privado). Concluyeron que los sistemas basados en ESP12E fueron reconocidos como la mejor opción en el lado del cliente y el servidor local basado en Thingspeak como el mejor servidor en su comparación.

Lawrence Oriaghe e Iqbal [13] diseñaron un sistema SCADA de bajo coste y de código abierto basado en IoT utilizando Thinger.IO y ESP32 thing, utilizaron un microcontrolador ESP32 para recibir, procesar y analizar los datos de los sensores de corriente y voltaje, un router WiFi para crear una red local y una Raspberry Pi que ejecuta un servidor local de IoT Thinger.IO con una interfaz gráfica de usuario como tablero de mandos para la monitorización de datos y el control de supervisión.

El diseño e implementación de sistemas SCADA en el campo agrícola está en aumento, especialmente aquellos con un enfoque de código abierto, en China, Moshayedi, Roy, Liao, y Li [14], implementaron y compararon dos diseños para sistemas SCADA de bajo costo, el primero utiliza placas Arduino como RTU que se conectan cada una a una Raspberry Pi, el segundo utiliza placas ESP8266 conectadas vía WiFi a una Raspberry Pi, a partir de ahí ambos diseños funcionan de la misma manera, utilizando Python, los datos de los sensores se almacenan en una base de datos MySQL y los datos se despliegan en un servidor web apache2, otra Raspberry Pi se utiliza para monitorear los otros dispositivos en cada zona en otro servidor web apache2 donde todas las zonas pueden ser monitoreadas en una interfaz gráfica de usuario web (GUI).

En Ecuador, Berrú Ayala, y otros [9] desarrollaron un Panel de Control de Riego Inteligente (SICP) basado en IoT como parte de un sistema SCADA para la automatización del riego de los cultivos de plátano, utilizaron placas Arduino Mega y Arduino Uno para interconectar los sensores y actuadores en el campo, una Raspberry Pi con Python se utilizó para recoger los datos de las RTUs, todos los datos de monitoreo y control son gestionados por aplicaciones en la nube como el tablero de instrumentos, el servidor web, y un broker MQTT.

En su revisión, Negrete [15], publicó hallazgos sobre la implementación de sistemas SCADA en la automatización de la agricultura en México, concluyó que, a pesar de sus beneficios en la automatización, las aplicaciones de los sistemas SCADA en la agricultura en México son inexistentes y la mayor barrera para su adopción por parte de los agricultores son los altos costos.

En México, las soluciones tecnológicas no suelen ser empleadas en la mayoría de las operaciones agrícolas y hortícolas de pequeña escala, gran parte de las tareas de producción son realizadas manualmente por los trabajadores, con esto en mente, el diseño e implementación de un sistema SCADA de bajo costo que permita a los operadores monitorear remotamente las variables y controlar los equipos dentro de un invernadero, crear una base de datos para almacenar los datos recolectados y un sistema de alertas para notificarlos en caso de que se presente una situación anormal. Este sistema pretende adaptarse a las necesidades tecnológicas de las instalaciones de producción a pequeña escala mediante el uso de tecnologías de bajo coste, de código abierto y de fácil obtención, además de ser sencillo de operar y escalar.

Metodología

Materiales

El sistema está dividido en cuatro módulos interconectados, como se describe en el modelo general del sistema (Figura 1), cada uno de los cuales se explicará detalladamente en las siguientes subsecciones.

Nodo sensor y actuadores

Los módulos de sensores - actuadores sirven como RTUs en el invernadero, alimentados por una batería que se carga constantemente con un panel solar y se comunican vía WiFi con el bróker MQTT, cada nodo utiliza un microcontrolador NodeMCU ESP32 que puede ser equipado con sensores si el área sólo requiere funcionalidades de monitorización o con una combinación de sensores y módulos de relés para controlar los equipos y monitorizar las variables físicas y el estado de los mismos. Los sensores y relés utilizados para la supervisión y el control dependen de las funcionalidades necesarias y de las limitaciones de la implementación. El panorama general donde se observan las conexiones de los módulos se puede observar en la figura 1.

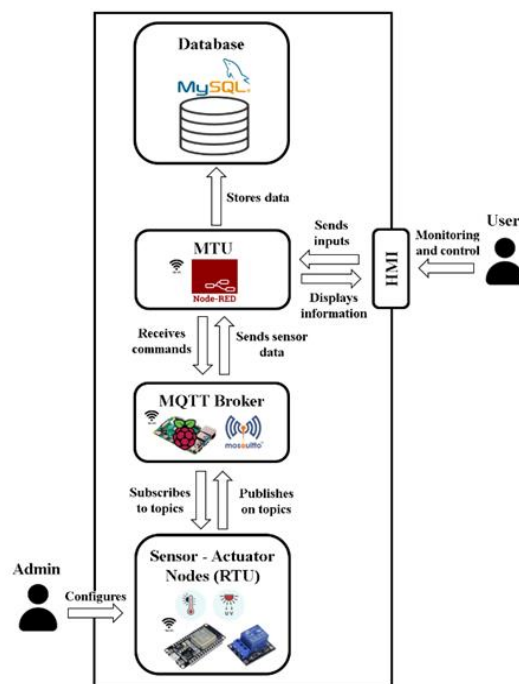


Figura 1. Panorama General de la solución. (fuente propia)

MQTT bróker

Se utiliza una Raspberry Pi 3 que ejecuta el bróker Mosquito para implementar el protocolo MQTT en un entorno de código abierto de bajo coste y porque proporciona un método ligero para llevar a cabo la mensajería utilizando el modelo de publicar y suscribir (mosquito, 2021) simplificando la comunicación entre los nodos y el cuadro de mando, así como proporcionando un mecanismo para escalar más fácilmente el sistema.

MTU

La MTU utiliza NodeRed para gestionar el intercambio de mensajes que van y vienen del bróker con el módulo MQTT y manejar la manipulación de datos durante todo el proceso.

HMI

El HMI está diseñado utilizando los widgets del módulo de tablero de mando de NodeRed para permitir al usuario una forma de supervisar y controlar remotamente los procesos dentro del invernadero.

Base de datos

Para almacenar los datos de los sensores y los equipos, se creó una base de datos utilizando el sistema de gestión de bases de datos MySQL.

Métodos

Para el diseño e implementación del sistema se eligió la metodología del Proceso Ágil Unificado (PAU) por su flexibilidad, adaptabilidad y sencillez.

Fase de inicio

El proyecto inició con visitas a un consejo local de productores de plantas ornamentales para analizar el estado actual de su proceso productivo, posteriormente, se concertaron una serie de reuniones con los miembros del consejo para discutir las áreas de oportunidad descubiertas en el análisis, obtener su visión del tema y definir posibles soluciones innovadoras a implementar.

Posteriormente, se realizó una investigación documental para encontrar soluciones comerciales y trabajos relacionados realizados por investigadores, primero a nivel mundial y luego en México, a partir de esta investigación, se elaboró una propuesta de diseño e implementación de un sistema SCADA y se presentó a los miembros del consejo para discutir los beneficios, alcances, limitaciones y restricciones del proyecto.

Fase de elaboración

Una vez aprobada la propuesta, se comenzó a modelar el sistema definiendo los requisitos funcionales y no funcionales y dibujando el modelo de casos de uso para mostrar cómo los usuarios interactuarían con el sistema para resolver un problema.

A continuación, para describir la estructura del sistema, se hicieron modelos de actividades, datos, componentes y despliegue, junto con un diagrama de clases.

Fase de construcción

En esta fase, el diseño inicial se modificó y refinó de acuerdo con las limitaciones que se produjeron durante la etapa de desarrollo, una vez finalizado, cada módulo del sistema fue construido y probado por primera vez en un entorno de laboratorio.

Para los nodos RTU, como se puede apreciar en la figura 2, el microcontrolador ESP32 SoC se instaló en una base de origen local para permitir un manejo más fácil y el acceso a los pines, los nodos fueron programados utilizando el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino con la biblioteca correspondiente para el módulo dev ESP32. Cada nodo fue configurado con las librerías WiFi y PubSubClient, la primera permite a la placa conectarse a una red WiFi y la segunda permite enviar y recibir mensajes MQTT. Se utilizaron librerías adicionales según la funcionalidad del nodo y los requisitos de los sensores.

El bróker MQTT consiste en una Raspberry Pi 3 que ejecuta Raspberry Pi OS y tiene el bróker de mensajes Mosquitto instalado y configurado para ejecutarse al inicio.

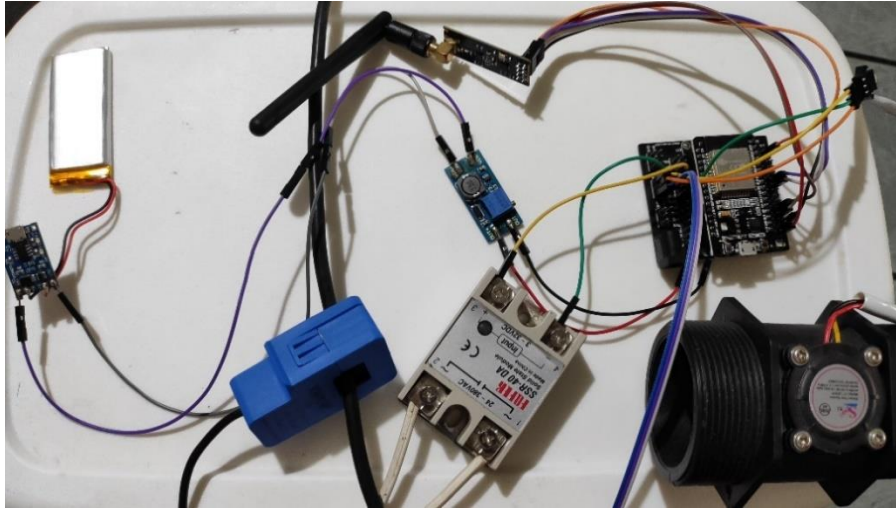


Figura 2. Prototipo nodo sensor para control de bomba de riego. (fuente propia)

Además, el RPI fue configurado para permitir la conexión Secure Shell (SSH) con el fin de gestionar el servidor o el corredor de forma remota.

El MTU fue implementado usando NodeRed, la programación es simple colocando y conectando nodos. Los módulos para la comunicación MQTT, el manejo de funciones y datos básicos, así como la depuración vienen por defecto con NodeRed, sin embargo, se instalaron varios módulos más para alcanzar la funcionalidad necesaria:

- dashboard: permite utilizar widgets como medidores, gráficos, botones, etc., para construir una interfaz de usuario amigable.
- ui-led: un sencillo led indicador de estado para el dashboard de NodeRed.
- mysql: permite el acceso básico a una base de datos MySQL.
- notification-center: maneja las notificaciones de manera consistente.

Por último, se creó la base de datos de acuerdo con los requisitos de diseño y se realizaron pruebas de campo individuales para cada módulo, y después se realizaron pruebas de integración sobre el terreno para determinar y resolver los problemas de implementación.

Fase de transición

El diseño del sistema se entregó junto con la documentación del software y se formó a los operarios para que manejaran correctamente el sistema.

Resultados y discusión

El resultado de este trabajo es el diseño de un sistema SCADA de bajo costo para monitorear y controlar invernaderos de plantas ornamentales. Para la recolección de datos de los sensores y el control de los equipos en el área de producción se crearon los nodos sensores-actuadores, estos funcionan como las RTUs del sistema, un ejemplo de estos módulos es el nodo principal de riego presentado anteriormente, cuyos materiales se presentan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Materiales nodo principal de riego

Dispositivo	Modelo
Esp32	NodeMCU ESP32 devkit
Sensor de flujo de agua de 2"	YF-DN50
Relé de estado sólido	SSR - 40 DA
Antena	NRF24L01
Sensor de corriente alterna no intrusivo	SCT-01
Batería	3.3v – 1000mah
Módulo de carga de batería	
Módulo regulador de voltaje	

El propósito de este módulo es controlar el sistema de riego principal, en el entorno del laboratorio, el relé de estado sólido se utiliza para encender y apagar una bomba de agua de ½ hp 110 VAC, en la prueba de campo, este relé tendría que ser cambiado por un contactor adecuado, ya que la bomba principal utilizada para el riego del invernadero es una bomba monofásica de 5 hp 220 VAC.

El sensor de flujo de agua y de corriente, se utilizan para medir el flujo de agua y de consumo de corriente por la bomba y obtener datos históricos para las métricas de consumo de agua. Los sensores se conectan al ESP32 donde los datos recogidos se gestionan en información útil y luego se publican al bróker a través de un mensaje MQTT, el microcontrolador también recibe instrucciones del bróker para encender o apagar la bomba y envía una señal al relé a través de uno de sus pines de entrada y salida de propósito general (GPIO).

La información de la salida del sensor, así como el estado del relé se utiliza para ayudar a detectar fallos en el equipo, por ejemplo, si el estado del relé es "on" y no hay flujo de agua, el rotor de la bomba podría estar atascado y el motor estaría en riesgo de sobrecalentamiento, por lo tanto, el operador es alertado con la situación en el tablero.

Uno de los principales componentes del sistema es el tablero de mandos, el cual puede observarse en la figura 3, que funciona como una HMI, primero se diseñó una página de inicio donde se muestran todas las zonas disponibles para monitorear y controlar como se ve en la figura 3, y el operador puede elegir una para visualizarla. Además, se muestran alertas globales para mostrar información crítica sobre todas las zonas.

Una vez que el operador selecciona un invernadero, se muestra el cuadro de mando de supervisión y control de la zona específica, como se ilustra en la figura 4. Uno de los principales objetivos del diseño del cuadro de mando es que sea visualmente atractivo y fácil de leer y manejar.

Para ello se utilizan widgets dinámicos como gráficos para mostrar los cambios históricos a corto plazo de un determinado parámetro, los medidores sirven para mostrar al operador los valores en tiempo real de las variables físicas del invernadero como la temperatura, la humedad, la radiación ultravioleta, el caudal de agua, etc., estos datos se muestran en medidores con códigos de colores específicos para el rango de funcionamiento de cada parámetro:

- Verde: el valor está en el rango óptimo.
- Amarillo: el valor está ligeramente fuera del rango especificado.
- Rojo: el valor está críticamente fuera del rango especificado.

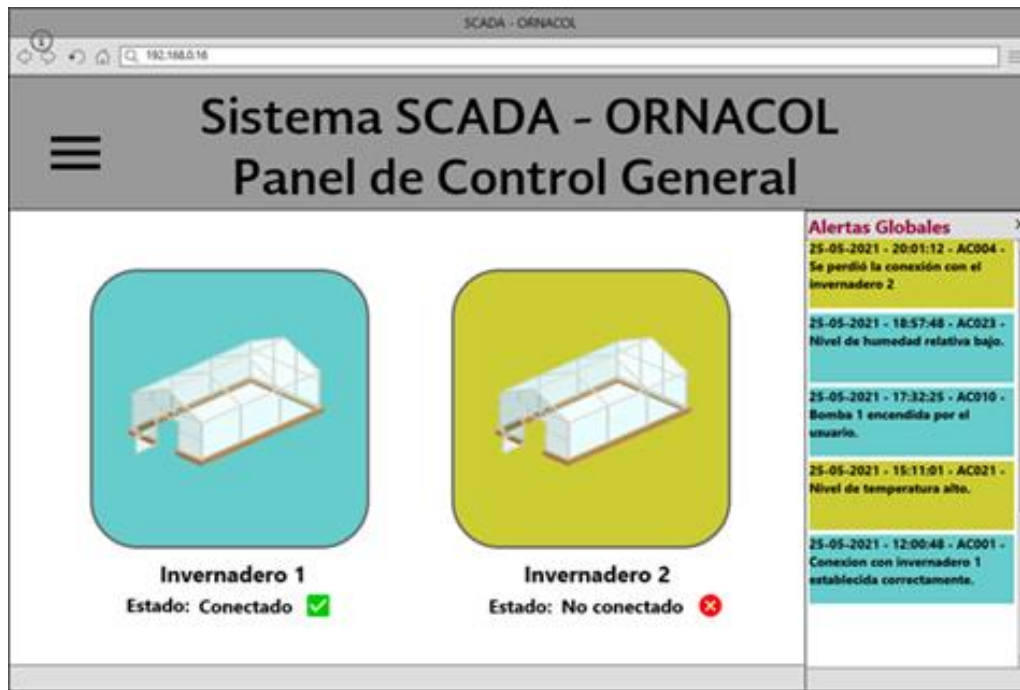


Figura 3. Panel de control. (fuente propia)

El panel de control se compone de deslizadores, cada deslizador corresponde a un dispositivo o equipo que puede ser encendido o apagado con un solo clic, junto a él, se encuentra un panel que muestra visualmente el estado actual de dicho equipo con una luz de color, un color gris significa que el dispositivo está apagado y una luz verde indica que el equipo está encendido.

Adicionalmente se muestra en la figura 4 un panel de alerta para notificar visualmente al operador de parámetros fuera de especificación o posibles fallos en un dispositivo o equipo.

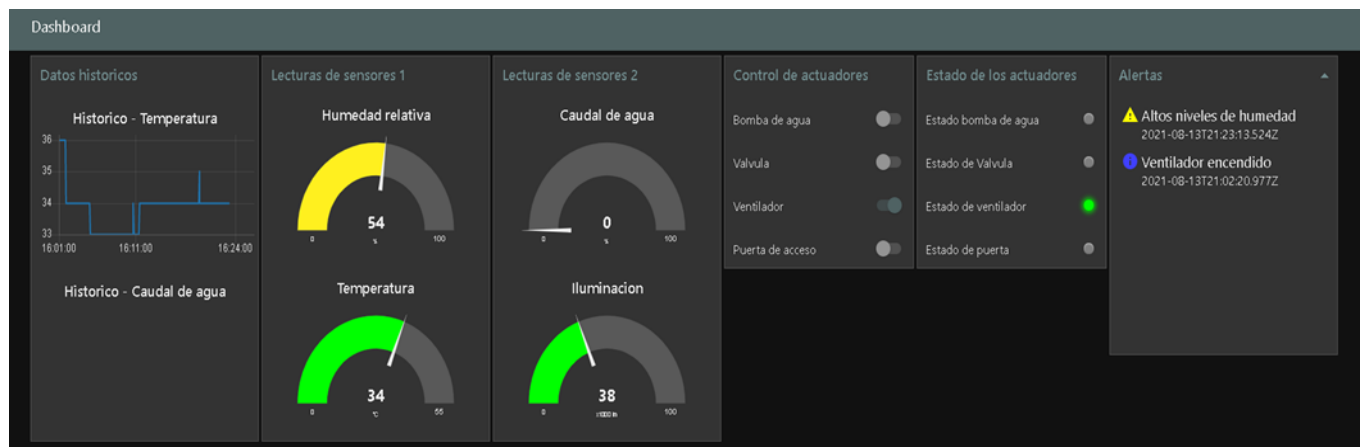


Figure 4. Tablero de control y monitoreo. (fuente propia)

Conclusiones

Con los resultados obtenidos en el presente trabajo se logró cumplir con el objetivo propuesto al diseñar un prototipo para un sistema SCADA de bajo costo y de código abierto para el monitoreo y control de invernaderos. A pesar de que al momento el desarrollo del proyecto se encuentra en la etapa de prototipo funcional, creemos que la implementación de este tipo de sistemas en la producción agrícola y hortícola tradicional y protegida puede ofrecer muchos beneficios, principalmente, el acceso remoto a la información en tiempo real sobre las variables físicas dentro de la zona de cultivo y el estado actual de los equipos, así como la capacidad de controlar de forma remota dichos equipos u otros dispositivos, reduciendo así el tiempo dedicado a viajar hacia y desde las zonas de producción para recoger datos o interactuar con los equipos y allanando el camino para la futura automatización.

Los datos son uno de los aspectos más cruciales de toda industria, y la adquisición de datos es una parte esencial del sistema, ya que al almacenar los datos recogidos en una base de datos histórica se crea un recurso que ayuda en el proceso de toma de decisiones.

Adaptando las innovaciones a las necesidades tecnológicas de los pequeños productores y trabajando en torno a la barrera de los costes, se pueden implementar nuevas tecnologías y adoptar tecnologías de otras industrias para mejorar este sector, haciendo que los beneficios de la Agricultura 4.0 sean alcanzables a cualquier escala del segmento.

Trabajo a futuro

Una vez que el sistema sea implementado completamente en la zona de producción inicial, se consideran los siguientes aspectos:

- Valorar la funcionalidad y confiabilidad del software y hardware después de un largo periodo de prueba
- Tomar medidas para mejorar el sistema según la valoración realizada durante el periodo de prueba
- Diseñar e implementar una red de comunicación robusta que permita cubrir grandes áreas
- Escalar el sistema a más zonas de producción haciendo uso de la red de comunicación desarrollada

Agradecimientos

Un agradecimiento especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo recibido gracias al Programa Nacional de Posgrado de Calidad (PNPC), a los profesores y miembros de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México Campus Colima (TECNM Campus Colima), y al consejo de productores de plantas ornamentales "ORNAMENTALES DE COLIMA" (ORNACOL) por su contribución al desarrollo del proyecto.

Referencias

- [1] OPF NEWS, «International Association of Horticultural Producers integra a OPF como miembro,» 2020. [En línea]. Available: <https://opf.news/international-association-of-horticultural-producers-integra-a-opf-como-miembro/>.
- [2] P. Juárez López, R. Bugarín Montoya y A. L. Sánchez Monteón, «HORTICULTURA PROTEGIDA EN NAYARIT, MÉXICO: SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS,» *Bio - ciencias*, vol. 1, nº 4, pp. 16 - 24, enero 2012.
- [3] Forbes, «Productores de flores confían regresar a niveles de ventas prepandemia en 2021,» 6 mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.forbes.com.mx/negocios-covid-deshoja-productores-flores-mexico/>.

- [4] Agronoticias, «MORELOS, PRINCIPAL PRODUCTOR DE PLANTAS EN MÉXICO: PRESENTE EN LA FERIA MÁS IMPORTANTE DE HORTICULTURA EN LATINOAMÉRICA,» 16 agosto 2019. [En línea]. Available: <https://agronoticias.com.mx/2019/08/16/morelos-principal-productor-de-plantas-en-mexico-presente-en-la-feria-mas-importante-de-horticultura-en-latinoamerica/>.
- [5] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, «Con amor, lo más bello del campo mexicano,» 13 febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/con-amor-lo-mas-bello-del-campo-mexicano?idiom=es>.
- [6] L. K. Carpio Santos, «El uso de la tecnología en la agricultura,» *PRO-SCIENCES: REVISTA DE PRODUCCIÓN, CIENCIAS E INVESTIGACIÓN*, vol. 2, nº 14, pp. 25 - 32, septiembre 2018.
- [7] J. P. Chavas y C. Nauges, «Uncertainty, Learning, and Technology Adoption,» *Applied Economic Perspectives and Policy*, vol. 00, nº 00, pp. 1 - 12, 2020.
- [8] M. De Clercq, A. Vats y A. Biel, «AGRICULTURE 4.0: THE FUTURE OF FARMING TECHNOLOGY,» *Proceedings of the World Government Summit*, pp. 1 - 25, 2018.
- [9] J. Berrú Ayala, D. Hernandez Rojas, P. Morochó Díaz, J. Novillo Vicuña, B. Mazon Olivo y A. Pan, «SCADA System Based on IoT for Intelligent Control of Banana Crop Irrigation,» *Applied Technologies. Communications in Computer and Information Science*, vol. 1193, pp. 243 - 256, 2020.
- [10] M. V. Scholl y C. R. Rocha, «Embedded SCADA for Small Applications,» *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, nº 21, pp. 246 - 253, 2016.
- [11] J. Formea y J. Gadbury, «Improve power reliability through small-scale SCADA systems (REPC),» *2016 IEEE Rural Electric Power Conference*, 2016.
- [12] J. L. Sarinda, T. Iqbal y G. Mann, «Low-Cost and Open Source SCADA Options for Remote Control and Monitoring of Inverters,» *2017 IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 2017.
- [13] A. Lawrence Oriaghe y T. M. Iqbal, «Low-Cost, Open Source IoT-Based SCADA System Design Using Thinger.IO and ESP32 Thing,» *electronics, Special Issue "Modern Mechatronics and Automation—An Open-Source Approach"*, 2019.
- [14] A. J. Moshayedi, A. S. Roy, L. Liao y S. Li, «Raspberry Pi SCADA Zonal based System for Agricultural Plant Monitoring,» *2019 6th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, pp. 427-433, 2019.
- [15] J. C. Negrete, «SCADA'S in The Automation of Agriculture in Mexico, A Overview,» *Acta Scientific Agriculture*, vol. 2, pp. 105-112, julio 2018.

Comparación de métodos de aprendizaje supervisado para la detección de lenguaje ofensivo en textos en español

J. D. Maldonado Mondragón^{1*}, A. López-Chau^{*2}, M. Quintana López³, S. J. Morales Escobar⁴
^{1,3,4}Centro Universitario UAEM Valle de México, Boulevard Universitario S/N Valle Escondido, Río San Javier,
54500, Cd. López Mateos, México

²Centro Universitario UAEM Zumpango, Laboratory of Applied Computing Technologies, Camino Viejo a
Jilotzingo S/N, Vista Hermosa, 55600, Zumpango de Ocampo, México

jmaldonadom012@alumno.uaemex.mx¹, alchau@uaemex.mx²

Área de participación: Sistemas Computacionales

Resumen

En la actualidad, la mayoría de las personas interactúan en un mundo habilitado para funcionar y socializar a través de internet. Las redes sociales como Facebook, Twitter o Instagram son un medio muy popular para expresar ideas; sin embargo, algunos usuarios aprovechan dicha facilidad para publicar comentarios ofensivos o insultos hacia otros usuarios. Debido a esto, observamos la necesidad de crear modelos predictivos para la detección este tipo de publicaciones. Hasta la fecha, la mayoría de los sistemas desarrollados para este propósito se centran principalmente en el idioma inglés, mientras que para el español hay pocos trabajos realizados. El enfoque más popular para detectar lenguaje ofensivo es mediante el uso de métodos de aprendizaje automático. En el presente artículo, analizamos el desempeño de seis métodos de clasificación para la detección de lenguaje ofensivo en idioma español en contra de la comunidad LGBTIQ+, encontrándose que las SVM con una vectorización de documentos basada en TF-IDF, combinado con un balance de clases es la que alcanza el mejor valor de F1-score.

Palabras clave: Detección de lenguaje ofensivo, Discurso de odio en redes sociales, Aprendizaje Automático, Procesamiento de Lenguaje Natural

Abstract

Today, most people interact in a world enabled to function and socialize through the Internet. Social networks like Facebook, Twitter or Instagram are a very popular means of expressing ideas; however, some users take advantage of this facility to post offensive comments or insults to other users. Due to this, we observed the need to create predictive models for the detection of this type of publication. To date, most of the systems developed for this purpose focus primarily on the English language, while for Spanish there are few works made. The most popular focus to detect offensive language is through machine learning. In this article, we analyzed the performance of six supervised learning methods for the detection of offensive language in Spanish against the LGBTIQ+ community, finding that SVMs with document vectorization based on TF-IDF, combined with a balance of classes is the one that reaches the best value of F1-score.

Key words: Hate Speech Detection, Hate Speech in social networks, Machine Learning, Natural Language Processing

Introducción

El surgimiento de las redes sociales supuso una revolución en el mundo digital y la forma de comunicarse. Estas plataformas nacieron con el propósito de conectar a las personas, permitiéndoles a su vez expresar sus puntos de vista y opiniones de forma pública.

Sin embargo, la libertad de los usuarios para poder expresarse libremente en internet, provocó que algunos de ellos abusaran, mediante publicaciones y comentarios de odio hacia otras personas [1], promoviendo el racismo y/o discriminación hacia una persona en específico o grupo de personas [2] [3], lo cual los afecta en diferentes

aspectos, no solo físicamente sino también psicológicamente, lo que puede derivar en depresión, ansiedad o incluso situaciones de riesgo para la vida.

Por lo anteriormente descrito, surge la necesidad de detectar comentarios en redes sociales con lenguaje que incite al odio. Actualmente, algunas de las validaciones para identificar esto se implementan de forma manual, a juicio subjetivo de revisores humanos. Otras validaciones se realizan con sistemas diseñados principalmente para el idioma inglés.

Los sistemas para la detección mensajes ofensivos o que promueven el odio se basan en diversos métodos, entre ellos podemos mencionar a los basados en lenguaje natural [4], los que emplean algoritmos de aprendizaje no supervisado con diccionarios de datos [5], y los basadas en lexicones [6]. Es importante mencionar que la mayoría de estos sistemas están diseñados para el idioma Inglés, y que hay significativamente menos trabajos para otros idiomas.

Los métodos de detección de lenguaje ofensivo basados algoritmos de aprendizaje supervisado, son afectados por el desbalance de las clases cuando se aplican con datos provenientes de redes sociales. Lo anterior debido a que, por lo general, los comentarios analizados son de clase no ofensivos, y una cantidad pequeña sí lo son [7]. Además, es común encontrar un gran porcentaje de comentarios sin relevancia o relación en los datos recolectados, lo que afecta todavía más el desempeño de los modelos predictivos.

Por otra parte, una de las comunidades más atacadas en redes sociales es LGBTIQ+. Por ejemplo, en la red social Twitter, se encuentran miles de publicaciones en español en las que se denigra, insulta y ataca a personas que pertenecen a esta comunidad.

Con base en lo anterior, el presente trabajo expone un análisis comparativo del desempeño de seis diferentes métodos de aprendizaje supervisado para la detección de lenguaje ofensivo en español contra la comunidad LBGTIQ+. Este análisis se realiza a partir de un corpus de 5,000 documentos obtenidos de la plataforma Twitter. Los clasificadores elegidos para la comparativa son los más comúnmente usados en el área de análisis de sentimientos: K-vecinos más cercanos (KNN del inglés K-Nearest Neighbors), Árboles de Decisión (DT del inglés Decision Trees), Máquina de Soporte Vectorial (SVM del inglés Support Vector Machine), Clasificador Bayesiano ingenuo (NB de Naive Bayes), Regresión Logística (LR del inglés Logistic Regression) y Bosque aleatorio (RF del inglés Random Forest).

El resto de este artículo se estructura de la siguiente manera. La sección 2 describe la metodología utilizada para la recolección y etiquetado de los documentos, así como la descripción del modelo a utilizar. La sección 3 representa el experimento y evaluación. Sección 4 trabajos a futuro, y finalmente conclusiones en la sección 5.

Metodología

Para la comparativa de desempeño, se usó la metodología resumida en a figura 1, que consta de las etapas recolección de datos, etiquetado manual de documentos, preprocesamiento de textos, extracción de características, balance de datos, ajuste de parámetros de los modelos y comparativa. A continuación explicamos cada una de estas etapas.

Recolección de datos

Para la realización de este artículo, utilizamos datos descargados de la plataforma Twitter. El tema de estudio es el lenguaje ofensivo en contra de la comunidad LGBTIQ+. Para la recolección de los datos, se usó una cuenta de desarrollador de Twitter, y se escribió un script en Python que usa la biblioteca Tweepy. El procedimiento para recolectar los documentos (tuits) es el siguiente:

- La consulta inicial usa las palabras clave siguientes: *LGBT*, *LGBT++*, *Besoton*, *SoyHomosexual*, *MexicoLGBT*, *ScruffLatino*, *QueAscoSerHomosexual*.
- Se limitan los resultados de la consulta a documentos en idioma español, y que sean únicamente tuits (no retweets ni respuestas).
- Se identifican las menciones utilizadas en los documentos. Estas inician con los símbolos hashtag(#) y arroba(@), respectivamente.
- Se mide la frecuencia de aparición de cada mención y las ordena de mayor a menor.
- Selecciona las 10 menciones con más frecuencia, las cuales serán utilizadas para realizar la siguiente búsqueda.

- Se repiten los pasos anteriores hasta obtener una cantidad suficiente de documentos (tuits).

Las fechas de descarga fueron entre el 25-03-2022 y el 1-07-2022. Todos los documentos recolectados fueron guardados en archivos de valores separados por comas. En total se descargaron 126,000 tuits.

Figura 1. Diagrama general de la metodología. Fuente: Elaboración propia.



Etiquetado

El correcto funcionamiento de los métodos de aprendizaje supervisado tiene una relación directa con la calidad del etiquetado de los datos. En este trabajo, el etiquetado fue realizado de manera manual, mediante la lectura minuciosa de cada uno de los documentos (tuits) y la asignación de la etiqueta que mejor corresponda al sentimiento expuesto, este enfoque ha sido aplicado en otros trabajos [8] [9]. La etiqueta o categoría asignada a cada documento es una de las siguientes: "Ofensa", "No Ofensa", "Neutral", de acuerdo a las siguientes reglas:

- **Ofensa.** Un documento es etiquetado en esta categoría si contiene:
 - Por lo menos una grosería en contra de la comunidad LGBTIQ +
 - Mensajes que inciten al odio en contra de la comunidad LGBTIQ +
 - Mensajes que inciten a la discriminación por orientación de género
 - Mensajes que denigren a un sexo en específico o ausencia de sexo
 - Maldiciones o burlas en contra de la comunidad LGBTIQ+
- **No Ofensa.** Un documento se considera en esta categoría si al leerse se identifican:
 - Mensajes de apoyo a favor de la comunidad LGBTIQ+
 - Palabras de aliento a favor de la comunidad LGBTIQ+
- **Neutral.** Un documento se etiqueta como neutral si contiene:
 - Mensajes que no tengan relación con los anteriores, como campañas de marketing o publicidad.
 - Mensajes donde únicamente coloquen hashtags o se etiqueten personas
 - Mensajes que realicen invitaciones a conferencias, concursos, programas de radio, entre otros

El etiquetado se realizó sobre 5000 documentos seleccionados mediante un muestreo aleatorio simple sin reemplazo. Una vez realizado el etiquetado a los tuits elegidos, se validó aplicando el criterio siguiente: se

eligieron aleatoriamente 358 tuits, y otra persona etiquetó nuevamente los tuits, luego se comparó la etiqueta anterior y la nueva. No se encontraron diferencias. La cantidad de 358 fue considerando la fórmula de población finita, con un nivel de confianza de 95% y un margen de error de 5%. El número de documentos de cada clase se muestra a continuación:

- Ofensa: 365
- No ofensa: 200
- Neutral: 4435

Se observa un desbalance de clases, lo que probablemente afectará el desempeño de las predicciones de los clasificadores.

Preprocesamiento de textos

Los documentos recolectados contienen elementos como emoticones, menciones de usuarios, enlaces, videos, imágenes, símbolos y caracteres especiales. El preprocesamiento de textos tiene como objetivo la eliminación de elementos que no contribuyen a identificar mensajes ofensivos. Los elementos que se identificaron y eliminaron fueron los siguientes:

- Menciones de usuarios, las cuales inician con el símbolo de arroba (@). Estos fueron sustituidos por la palabra USERNAME.
- Los hashtags o temas, que inician con el símbolo de número (#). Estos fueron sustituidos por la palabra TOPIC.
- Direcciones de internet, las cuales comienzan con el texto "http"
- Caracteres especiales tales como "·\$%&/()=?¿
- Se eliminaron los acentos y números.
- Etiquetas HTML, las cuales comienzan con el símbolo "<" y terminan con ">"

Estos elementos no aportan o influyen en alguna cuestión dentro de la identificación de textos [10].

Extracción de características

Los documentos obtenidos contienen una longitud variable, ya que son datos no estructurados. Para poder realizar la clasificación de este tipo de textos, fue necesario convertir los documentos en datos estructurados, que es una representación vectorial del texto.

Existen diversas técnicas para vectorizar un documento, los cuales pueden tener un efecto en el desempeño de los modelos predictivos. En este trabajo, utilizamos tres diferentes técnicas:

- Frecuencia de Término – Frecuencia Inversa (TF-IDF del inglés Term Frequency-Inverse Document Frequency). Convierte el documento a un vector de enteros conforme a la distribución de frecuencias de cada palabra y su frecuencia inversa [11].
- Bolsa de Palabras (BoW del inglés Bag of Words). Crea una colección de vectores normalizados en tamaño, donde coloca la frecuencia de aparición (conteo) de cada palabra del documento en cuestión en su respectivo vector. [12]
- Hashing Vectorizer. Similar a las dos anteriores, aunque con la diferencia de usar el hashcode (identificador numérico) de cada palabra.

Modelos predictivos usados y ajuste de sus parámetros

Los métodos de aprendizaje automático (o ML por sus siglas en inglés *Machine Learning*), tienen como fin primordial brindar a las computadoras la capacidad de aprender a partir de los datos [13] [14]. Los algoritmos de ML del tipo aprendizaje supervisado tratan de generar un modelo que se ajuste al conocimiento implícito en los datos, el cual se proporciona mediante una etiqueta asignada a cada muestra. Por lo que es necesario que el etiquetado sea correcto, ya que de otra forma, los modelos realizarán predicciones incorrectas.

Para la identificación de lenguaje ofensivo en idioma español en contra la comunidad LGBTIQ+, se consideraron seis diferentes tipos de métodos de aprendizaje supervisado, estos son los siguientes: KNN , DT , SVM , NB , LR y RF.

Los parámetros de cada uno de estos clasificadores fueron ajustados utilizando la técnica de búsqueda óptima exhaustiva de hiperparámetros con validación cruzada (*grid search cross validation*). La Tabla 1 muestra la configuración de parámetros obtenidos por clasificador y método de vectorización.

Tabla 1. Configuración de hiperparámetros obtenida mediante la técnica de búsqueda de rejilla exhaustiva

Vectorizador/ Clasificador	KNN	Árbol de decisión	SVM	Naive Bayes	Regresión logística	Random Forest
TF-IDF	n_neighbors:2	max_depth: 17 min_samples_leaf: 1	kernel:'rbf' gamma: 2.8571	var_smoot hing:1	penalty:'l2' tol:1e-4	max_depth:17
BoW	n_neighbors:2	max_depth: 17 min_samples_leaf: 3	kernel:'rbf' gamma: 0.7143	var_smoot hing:1	penalty:'l2' tol:1e-4	max_depth:11
Hashing	n_neighbors:2	max_depth: 17 min_samples leaf: 1	kernel:'rbf' gamma:5.0	var_smoot hing:1	penalty:'l2' tol:1e-4	max_depth:17

Experimentación y Evaluación

Desarrollo

Para realizar la comparativa del desempeño que tiene cada uno de los seis métodos de clasificación, en la tarea de identificar lenguaje ofensivo de textos en español, se midió la precisión (precision), exhaustividad (recall) y F1-score usando cada tipo de vectorización (TF-IDF, Bow y Hashing Vectorizer). Los resultados reportados en las tablas 2, 3 y 4 son usando la técnica de 10 validaciones cruzadas. Los mejores resultados con respecto a F1-score son indicados con una fuente en negrita.

Tabla 2. Desempeño de los clasificadores utilizando la vectorización TF-IDF

Clases	Clasificador	Precision	Recall	F1-Score
Ofensa	KNN	0.40	0.17	0.24
	DT	0.50	0.42	0.45
	SVM	0.00	0.00	0.00
	NB	0.47	0.58	0.52
	LR	0.00	0.00	0.00
	RF	0.00	0.00	0.00
Neutral	KNN	0.91	0.98	0.94
	DT	0.92	0.96	0.94
	SVM	0.90	1.00	0.95
	NB	0.93	0.96	0.95
	LR	0.90	1.00	0.95
	RF	0.90	1.00	0.95
No ofensa	KNN	0.00	0.00	0.00
	DT	0.00	0.00	0.00
	SVM	0.00	0.00	0.00
	NB	1.00	0.12	0.22
	LR	0.00	0.00	0.00
	RF	0.00	0.00	0.00

Tabla 3. Desempeño de los clasificadores utilizando la vectorización Bag of Words.

Clases	Clasificador	Precision	Recall	F1-Score
Ofensa	KNN	0.28	0.58	0.38
	DT	0.20	0.17	0.18
	SVM	0.00	0.00	0.00
	NB	0.47	0.58	0.52
	LR	0.40	0.17	0.24
	RF	0.00	0.00	0.00
Neutral	KNN	0.93	0.91	0.92
	DT	0.91	0.96	0.93
	SVM	0.90	1.00	0.95
	NB	0.93	0.96	0.95
	LR	0.91	0.98	0.94
	RF	9.00	1.00	0.95
No ofensa	KNN	0.00	0.00	0.00
	DT	0.00	0.00	0.00
	SVM	0.00	0.00	0.00
	NB	1.00	0.12	0.22
	LR	0.00	0.00	0.00
	RF	0.00	0.00	0.00

Tabla 4. Desempeño de los clasificadores utilizando la vectorización Hashing Vectorizer.

Clases	Clasificador	Precision	Recall	F1-Score
Ofensa	KNN	0.17	0.08	0.11
	DT	0.14	0.08	0.11
	SVM	0.00	0.00	0.00
	NB	0.75	0.25	0.38
	LR	0.00	0.00	0.00
	RF	1.00	0.08	0.15
Neutral	KNN	1.00	0.60	0.75
	DT	0.79	0.76	0.78
	SVM	0.99	0.92	0.95
	NB	0.91	0.99	0.95
	LR	0.90	1.00	0.95
	RF	0.90	1.00	0.95
No ofensa	KNN	0.00	0.00	0.00
	DT	0.00	0.00	0.00
	SVM	0.00	0.00	0.00
	NB	0.00	0.00	0.00
	LR	0.00	0.00	0.00
	RF	0.00	0.00	0.00

De acuerdo con resultados de las tablas 2, 3 y 4, se observa que el desempeño de los clasificadores es bajo para las clases *ofensa* y *no ofensa*. Las técnicas de vectorización IF-IDF y Bag of words son con las que se alcanza un mejor desempeño para las clases mencionadas.

Como se esperaba, la clase neutral es la que predicen mejor los clasificadores, sin importar el tipo de vectorización empleada. Esto se atribuye al desbalance de las clases. Como estrategia para mejorar el desempeño de los clasificadores, se aplicó SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique), el cual crea muestras sintéticas a partir de las instancias de las clases minoritarias, lo que produce un balanceo de clases, es decir, se tiene una cantidad igual de datos de cada muestra.

Las tablas 5, 6 y 7 muestran los desempeños de cada clasificador, calculados mediante 10 validaciones cruzadas, después de balancear las clases.

Tabla 5. Desempeño de los clasificadores utilizando la vectorización TF-IDF y balanceo de clases con SMOTE.

Clases	Clasificador	Precision	Recall	F1-Score
Ofensa	KNN	0.71	1.00	0.83
	DT	0.94	0.95	0.95
	SVM	1.00	0.99	1.00
	NB	0.97	1.00	0.98
	LR	1.00	0.99	1.00
	RF	0.96	0.94	0.95
Neutral	KNN	1.00	0.06	0.12
	DT	0.89	0.88	0.89
	SVM	0.99	0.99	0.99
	NB	1.00	0.95	0.97
	LR	0.99	0.99	0.99
	RF	0.91	0.95	0.93
No ofensa	KNN	0.68	1.00	0.81
	DT	0.95	0.94	0.94
	SVM	0.99	1.00	1.00
	NB	0.98	1.00	0.99
	LR	0.99	1.00	0.99
	RF	0.99	0.97	0.98

Tabla 6. Desempeño de los clasificadores utilizando la vectorización Bag of Words y balanceo de clases con SMOTE.

Clases	Clasificador	Precision	Recall	F1-Score
Ofensa	KNN	0.58	0.88	0.70
	DT	0.60	0.85	0.70
	SVM	0.71	0.83	0.77
	NB	0.92	0.95	0.93
	LR	0.91	0.77	0.83
	RF	0.93	0.69	0.79
Neutral	KNN	0.92	0.07	0.13
	DT	0.80	0.60	0.69
	SVM	0.87	0.89	0.93
	NB	0.92	0.95	0.93
	LR	0.91	0.77	0.83
	RF	0.93	0.69	0.79
No ofensa	KNN	0.54	0.73	0.62
	DT	0.65	0.54	0.59
	SVM	0.87	0.89	0.93
	NB	0.63	0.95	0.76
	LR	0.75	0.69	0.72
	RF	0.73	0.62	0.67

Tabla 7. Desempeño de los clasificadores utilizando la vectorización Hashing Vectorizer y balanceo de clases con SMOTE.

Clases	Clasificador	Precision	Recall	F1-Score
Ofensa	KNN	0.79	1.00	0.88
	DT	0.85	0.88	0.87
	SVM	1.00	1.00	1.00
	NB	0.70	0.69	0.69
	LR	0.70	0.74	0.72
	RF	0.95	0.98	0.97
Neutral	KNN	1.00	0.60	0.75
	DT	0.79	0.76	0.78
	SVM	1.00	0.99	0.99
	NB	0.58	0.47	0.52
	LR	0.52	0.47	0.49
	RF	0.96	0.93	0.94
No ofensa	KNN	0.89	1.00	0.94
	DT	0.86	0.86	0.86
	SVM	0.99	1.00	0.99
	NB	0.65	0.77	0.71
	LR	0.61	0.64	0.62
	RF	0.97	0.98	0.98

Se observa una mejora significativa en el desempeño de los clasificadores para detectar lenguaje ofensivo en contra de la comunidad LGBTIQ+ en español.

Tabla 8. Resumen comparativo de los desempeños de los métodos de aprendizaje supervisado para detección de lenguaje ofensivo en español contra la comunidad LGBTIQ+.

Tipo de vectorización	Balance de clases	Ofensa	Neutral	No ofensa			
TF-IDF	No	NB (0.52)	LR (0.95)	NB (0.22)			
			NB (0.95)				
			RF (0.95)				
			SVM (0.95)				
Sí		SVM (1.00)	LR (0.99)	SVM (1.00)			
		LR (0.99)	SVM (0.99)				
Bag of words	No	NB (0.52)	NB (0.95)	NB (0.22)			
			RF (0.95)				
			SVM (0.95)				
Sí		NB (0.93)	NB (0.93)	NB (0.76)			
			SVM (0.93)				
Hashing vectorizer	No	NB (0.38)	LR (0.95)	Ninguno			
			NB (0.95)	Ninguno			
			RF (0.95)	Ninguno			
			SVM (1.00)	Ninguno			
			Sí		RF (0.97)	SVM (0.95)	RF (0.98)
					SVM (0.99)		SVM (0.99)

La Tabla 8 muestra un resumen comparativo de los mejores desempeños (con respecto a F1-Score) de los métodos de clasificación utilizados. Las celdas con texto en negritas indican los valores más altos por cada clase. Los valores de F1-score obtenidos sin el balanceo de clases, fluctúan entre 0.22 y 0.95, siendo la clase "Neutral" aquella se predice mejor, y donde la mayoría de clasificadores manifiestan un puntaje elevado. Esto se atribuye

a que el número de documentos pertenecientes a esta clase supera el 88% de los datos, por lo que existe un sesgo de los clasificadores a predecir esta clase. Hemos detectado que muchos trabajos en la literatura no consideran este problema.

Tomando como referencia los resultados sin balanceo de clases, se puede deducir la técnica de vectorización que mejor rendimiento presenta es TF-IDF, puesto que, aunque los resultados son similares con otra técnica como la Bolsa de palabras, existe una mayor parte de clasificadores con un puntaje más elevado, dejando a su vez la técnica de hashing vectorizer como la que manifiesta un puntaje menor.

Una vez realizado el balanceo de clases, los desempeños de los clasificadores mejoran significativamente. Para este conjunto de datos, la combinación de TF-IDF y SVM demuestra un mejor desempeño, presentando un puntaje alto con los tres tipos de vectorización, y para las tres clases. La segunda mejor combinación es TF-IDF con el método de clasificación LR, el cual presenta un puntaje F1-score menor para la detección de lenguaje ofensivo. De igual manera, se puede observar que la técnica de Bolsa de Palabras, aunque representa valores aceptables en la identificación, son inferiores a las demás técnicas de vectorización cuando se utiliza el Clasificador NB, dejando esta combinación como la peor de este segmento. Los clasificadores DT y RF no figuran entre los mejores en la comparativa.

Trabajos Futuros

Como trabajo futuro, se continuará estudiando el problema de la identificación de ofensas en idioma español enfocadas a la comunidad LGBTIQ+ con un corpus más extenso (más de 100,000 documentos), realizando la combinación de diversos métodos de aprendizaje supervisado y técnicas de vectorización, además de utilizar una capa adicional para incluir el uso de lexicones creados específicamente para este contexto. Se plantea que el uso de lexicones brinden soporte en la identificación y apoyen a mitigar el problema generado por la constante evolución del lenguaje.

Conclusiones

Las agresiones en redes sociales son un tema de gran preocupación en la actualidad, ya que el daño que pueden provocar es cada vez más significativo en las personas. Actualmente, varias entidades como gobierno, universidades y las propias redes sociales se encuentran realizando esfuerzos por mitigar el problema, sin embargo, aún no son suficientes.

El objetivo principal de este artículo fue presentar la evaluación de diversos métodos de aprendizaje supervisado para la detección de lenguaje ofensivo en idioma español en contra de la comunidad LGBTIQ+. Para ello, realizamos experimentos con seis métodos de clasificación, y utilizando tres diferentes técnicas de vectorización de documentos.

Los resultados obtenidos demostraron que el aplicar directamente las técnicas de clasificación a documentos vectorizados no es suficiente para poder alcanzar buenos resultados en las predicciones. Esto es especialmente cierto cuando los textos de los documentos provienen directamente de una red social, como Twitter, debido a que una gran cantidad de ellos no son significativos o no tienen relación con el tema de estudio central. Lo anterior genera un problema de desbalance de clases.

En nuestro estudio, de las tres categorías posibles (ofensa, no ofensa y neutral) para cada documento, más del 88% de los documentos son de clase neutral, lo que provoca que los modelos predictivos tengan un sesgo para predecir esta clase. Una técnica de balance de datos, como SMOTE, ayuda a mejorar el desempeño de los métodos de clasificación.

En términos de resultados podemos concluir que las Máquinas de Vectores Soporte Vectorial con kernel RBF, combinadas con la técnica de vectorización TF-IDF brindó el mejor rendimiento, mostraron los mejores resultados. Finalmente, se puede mencionar los siguientes puntos:

- La calidad del etiquetado influye en gran medida a la medición obtenida. En este artículo se crearon reglas para el etiquetado de los documentos, y se evaluó la calidad del mismo.
- Cuando se trabaja con documentos reales provenientes de redes sociales, es necesario identificar si existe desbalance de clases.
- Aplicar una técnica de balanceo de clases, puede ayudar a mejorar las predicciones de lenguaje ofensivo de textos en español en contra la comunidad LGBTIQ +.

Referencias

- [1] A. Perera and P. Fernando, "Accurate Cyberbullying Detection and Prevention on Social Media," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 181, pp. 605–611, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.207>.
- [2] V. K. Jha, H. P. V. P N, V. Vijayan, and P. P, "DHOT-Repository and Classification of Offensive Tweets in the Hindi Language," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 171, pp. 2324–2333, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.252>.
- [3] E. Pronoza, P. Panicheva, O. Koltsova, and P. Rosso, "Detecting ethnicity-targeted hate speech in Russian social media texts," *Inf. Process. Manag.*, vol. 58, no. 6, p. 102674, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102674>.
- [4] A. Sengupta, S. K. Bhattacharjee, M. S. Akhtar, and T. Chakraborty, "Does aggression lead to hate? Detecting and reasoning offensive traits in hinglish code-mixed texts," *Neurocomputing*, vol. 488, pp. 598–617, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.11.053>.
- [5] M. A. Bashar, R. Nayak, K. Luong, and T. Balasubramaniam, "Progressive domain adaptation for detecting hate speech on social media with small training set and its application to COVID-19 concerned posts," *Soc. Netw. Anal. Min.*, vol. 11, no. 1, p. 69, Jul. 2021, doi: [10.1007/s13278-021-00780-w](https://doi.org/10.1007/s13278-021-00780-w).
- [6] L. Vrysis *et al.*, "A web interface for analyzing hate speech," *Futur. Internet*, vol. 13, no. 3, p. 80, Mar. 2021, doi: [10.3390/fi13030080](https://doi.org/10.3390/fi13030080).
- [7] W. Yin and A. Zubiaga, "Towards generalisable hate speech detection: a review on obstacles and solutions," *PeerJ Comput. Sci.*, vol. 7, no. e598, p. e598, Jun. 2021.
- [8] M. Zhong, Z. Li, S. Liu, B. Yang, R. Tan, and X. Qu, "Fast Detection of Deceptive Reviews by Combining the Time Series and Machine Learning," *Complexity*, vol. 2021, p. 9923374, 2021, doi: [10.1155/2021/9923374](https://doi.org/10.1155/2021/9923374).
- [9] J. Salminen, M. Hopf, S. A. Chowdhury, S. gyo Jung, H. Almerexhi, and B. J. Jansen, "Developing an online hate classifier for multiple social media platforms," *Human-centric Comput. Inf. Sci.*, vol. 10, no. 1, Dec. 2020, doi: [10.1186/s13673-019-0205-6](https://doi.org/10.1186/s13673-019-0205-6).
- [10] A. López-Chau, D. Valle-Cruz, and R. Sandoval-Almazán, "Sentiment Analysis of Twitter Data Through Machine Learning Techniques," in *Software Engineering in the Era of Cloud Computing*, M. Ramachandran and Z. Mahmood, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 185–209. doi: [10.1007/978-3-030-33624-0_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33624-0_8).
- [11] I. Aljarah *et al.*, "Intelligent detection of hate speech in Arabic social network: A machine learning approach," *J. Inf. Sci.*, vol. 47, no. 4, pp. 483–501, Aug. 2021.
- [12] P.-N. Tan, M. Steinbach, A. Karpatne, and V. Kumar, *Introduction to Data Mining (2nd Edition)*, 2nd ed. Pearson, 2018.
- [13] F. Vitiugin, Y. Senarath, and H. Purohit, "Efficient Detection of Multilingual Hate Speech by Using Interactive Attention Network with Minimal Human Feedback," in *13th ACM Web Science Conference 2021*, 2021, pp. 130–138. doi: [10.1145/3447535.3462495](https://doi.org/10.1145/3447535.3462495).
- [14] V. K. Vemuri, *The Hundred-Page Machine Learning Book*, vol. 22, no. 2. Andriy Burkov, 2020. doi: [10.1080/15228053.2020.1766224](https://doi.org/10.1080/15228053.2020.1766224).

Sistema inteligente basado en redes neuronales para asistir la comunicación de personas con disartria

Paloma Valeria Contreras González, María Trinidad Serna Encinas*, Rosalía del Carmen Gutiérrez Urquidez, César Enrique Rose Gómez y Rafael Armando Galaz Bustamante

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Hermosillo,
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Av. Tecnológico S/N, Col. El Sahuaro, CP. 83170, Hermosillo, Sonora, México.

m15331156@hermosillo.tecnm.mx, maria.sernae@hermosillo.tecnm.mx,
rosalia.gutierrezu@hermosillo.tecnm.mx, cesar.roseg@hermosillo.tecnm.mx,
rafael.galazb@hermosillo.tecnm.mx

Área de participación: sistemas computacionales

Resumen

La disartria es un trastorno del habla como consecuencia de una parálisis cerebral, accidente cerebrovascular, esclerosis lateral amiotrófica, entre otros. Las personas con disartria frecuentemente presentan dificultad para pronunciar las palabras de una manera inteligible, por lo que el trastorno puede afectar en la capacidad de la persona para relacionarse con otros debido a la falta de entendimiento en la expresión oral; teniendo como resultado la exclusión social. En el presente artículo se explica el desarrollo de un sistema para asistir a la persona con disartria en su interacción con otros. Se trata de una aplicación móvil la cual reconoce lo que la persona desea expresar y despliega la salida por medio de un generador de voz. Como resultado de las pruebas de funcionalidad, se obtuvieron un 77% y un 65% de exactitud en el reconocimiento del habla de casos con disartria leve y moderada, respectivamente.

Palabras clave: disartria, tecnología de asistencia, inteligencia artificial.

Abstract

Dysarthria is a speech disorder resulting from cerebral palsy, stroke, amyotrophic lateral sclerosis, among others. People with dysarthria often present difficulty to pronounce words in an intelligible way, so the disorder can affect the person's ability to relate to others due to the lack of understanding in their oral expression, resulting in social exclusion. This article explains the development of a system to assist the person with dysarthria in their interaction with others. The system consists of a mobile application which recognizes, by using a neural network, what the person wants to express, and displays the output through a voice generator. As a result of the functional tests, 77% and 65% accuracy in speech recognition was obtained for cases with mild and moderate dysarthria, respectively.

Key words: dysarthria, assistive technology, artificial intelligence.

Introducción

En el 2018, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), más de 700.000 personas presentaban una dificultad para hablar o comunicarse [1]. En las discapacidades de la comunicación, se encuentra la disartria. Se trata de un trastorno de origen neurológico en el que la persona presenta problemas para controlar los músculos empleados para hablar. En la disartria se presentan síntomas como, por ejemplo, lentitud o movimientos involuntarios en el habla, los cuales repercuten negativamente en el entendimiento del habla de la persona [2]. Para apoyar a la persona en la expresión de deseos, necesidades u opiniones, se han desarrollado diversos tipos de tecnología de asistencia. Desde cuadrículas con imágenes o con las letras del abecedario, hasta aplicaciones móviles que permiten seleccionar palabras para formar una oración y desplegarla por medio de un generador de voz. Sin embargo, existen casos en donde la disartria es acompañada por discapacidades motrices que dificultan

el uso de teclados o la manipulación de objetos pequeños [3]. Es por ello que la aplicación de sistemas basados en el reconocimiento del habla se ha visto prometedora. No obstante, los sistemas de reconocimiento utilizados para un habla sin alteraciones son incapaces de reconocer el habla de personas con disartria debido a las variaciones que pueden presentar.

En la actualidad existen aplicaciones móviles como VocaTempo o Voiceitt, las cuales buscan asistir la comunicación oral de las personas con alteraciones del habla, como es el caso de la disartria, por medio del reconocimiento del habla. No obstante, estas aplicaciones tienen un costo aproximado de 174 dólares [4]-[5]. En la presente investigación se describe el desarrollo de un sistema inteligente para asistir la comunicación de personas con disartria leve y moderada. El sistema emplea una red neuronal para el reconocimiento de patrones de voz. En el artículo se describe desde la arquitectura considerada hasta los resultados de las pruebas de funcionalidad y usabilidad del sistema. Con este proyecto se busca facilitar la comunicación de necesidades y deseos a otros por parte de las personas con disartria.

Metodología

Arquitectura del sistema

Para el funcionamiento del sistema se consideraron cuatro módulos, cada uno con un propósito en específico, los cuales son: módulo de entrada, de entrenamiento, de reconocimiento y de resultados. En la Figura 1 se muestra cada uno de los módulos, los procesos que se llevan a cabo en ellos y los módulos u otros componentes del sistema con los que se relacionan.

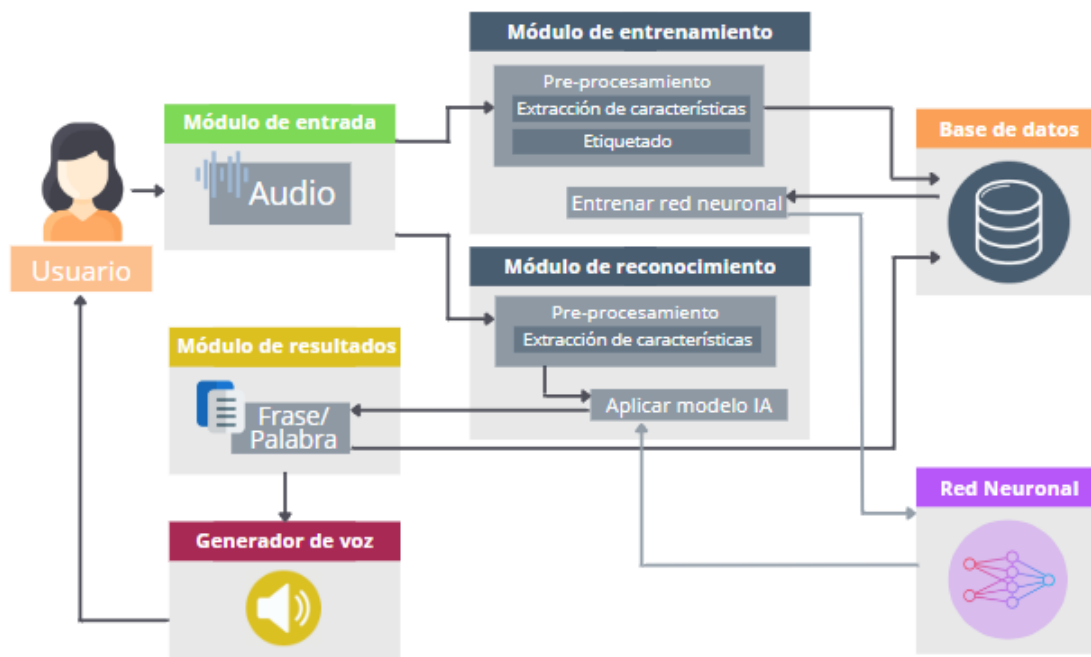


Figura 1. Arquitectura del Sistema. Elaboración propia.

Para realizar el entrenamiento y la ejecución del modelo en el sistema, primero es importante que el usuario registre cuáles son las palabras que desea se reconozcan y qué salida espera se despliegue en cada una de ellas. Por ejemplo, el usuario puede pronunciar la palabra "perro" para que el modelo la reconozca, pero no necesariamente esta palabra será la salida del dispositivo; sino que es posible que el usuario configure la aplicación para desplegar como salida "quiero jugar con mi perro". Estos datos son registrados por el usuario y son almacenados en una base de datos, considerando como atributos un identificador, el valor de entrada (lo que la persona pronuncia) y el valor de salida (lo que la persona desea que la aplicación tenga como salida).

Tanto para realizar el reconocimiento como el entrenamiento, es necesario obtener audios que contendrán la pronunciación del usuario de la palabra que desea se entrene o reconozca. Estos audios son recibidos por el módulo de entrada. El audio es obtenido al utilizar la clase AudioRecord, la cual administra los recursos de audio para grabar desde el hardware de entrada de audio. Durante la grabación, el dispositivo se encarga de leer los datos del objeto creado de la clase AudioRecord. Finalmente, se obtiene un arreglo que representa al audio.

En el caso del módulo de entrenamiento, éste recibe el audio y realiza en él un preprocesamiento, el cual consiste en la extracción de características y su etiquetado. La extracción de características se realiza por medio de un modelo de inteligencia artificial, el cual se explica más adelante en el presente artículo, obteniendo por resultado un arreglo con dichas características. Estas características son almacenadas en la base de datos, considerando también el identificador de la palabra que fue entrenada. Con ello, se realiza el etiquetado del audio. Estas características y el etiquetado son utilizados para el entrenamiento de la red neuronal; el cual es realizado por medio de técnicas ofrecidas por TensorFlow para el entrenamiento de modelos en el dispositivo móvil.

Una vez entrenada la red neuronal, es posible utilizarla para el reconocimiento. En el caso del módulo de reconocimiento se realiza un preprocesamiento, el cual consiste en la extracción de características. Al igual que en el módulo de entrenamiento, estas características son obtenidas por medio de un modelo de inteligencia artificial. Con estas características, la red neuronal es capaz de realizar una clasificación. La salida obtenida por la red neuronal es consultada en la base de datos para obtener la frase o palabra relacionada con dicho resultado. Finalmente, la frase o palabra resultante es reproducida por medio de un generador de voz. Para obtener habla a partir de texto, se utilizó la clase TextToSpeech ofrecida por Android.

Conjuntos de datos

Para la generación de los conjuntos de datos, se contó con el apoyo de dos personas, menores de edad, con disartria. Un caso con disartria leve y otro caso con disartria moderada. Se generaron dos *datasets*, uno para cada uno de los casos, esto debido a que se desea que el sistema sea dependiente del usuario; es decir, que el sistema sea personalizado y entrenado por la persona que utilizará el sistema. En el presente artículo, se identificará al caso con disartria leve con el id I-DL. El id es generado a partir de la inicial del nombre de la persona y el nivel de severidad de su disartria, ya sea leve o moderada. Para la identificación de la persona con disartria moderada, se considera el id Y-DM.

Para definir las palabras que conformarían a los conjuntos de datos, se le solicitó a la persona con disartria y a su tutor el identificar palabras utilizadas de manera cotidiana por la persona. Para el caso I-DL, se consideraron las palabras caricatura, PawPatrol, sándwich, teléfono y dinosaurio. Mientras que para el caso Y-DM, se consideraron las palabras Kenia, agua y silla.

Al tener identificadas las palabras que se desea sean reconocidas por el sistema, se iniciaron las grabaciones; las cuales contienen la pronunciación de dichas palabras por parte del caso de estudio. Para la recolección de audios se empleó una tableta Samsung Galaxy Tab A7 Lite. Cuenta con un sistema operativo Android 11. Los audios fueron grabados en distintos días, en un período de 6 meses. Finalmente, para el caso I-DL, se obtuvieron 60 repeticiones para cada una de las palabras; mientras que para el caso Y-DM, se recolectaron 65 repeticiones por palabra.

Modelo basado en *transfer learning*

Debido a que el conjunto de datos obtenido no es suficiente para el entrenamiento de una red neuronal desde cero, se empleó la extracción de características como técnica de aprendizaje por transferencia (*transfer learning*, en inglés). De manera general, en el aprendizaje por transferencia se busca utilizar un modelo, el cual ha sido entrenado previamente con un conjunto de datos compuesto de hasta millones de datos, como punto de partida para desarrollar un modelo que realice una tarea similar, pero en la que exista muy pocos datos para el entrenamiento del modelo desde cero [6]. En la técnica de extracción de características, primero se obtiene la salida de alguna de las capas del modelo ya entrenado; generalmente la salida extraída es de las últimas capas de la red neuronal. Esta salida extraída es empleada como entrada al modelo desarrollado para la tarea deseada; este modelo puede tratarse de, por ejemplo, una red neuronal o una máquina de vectores de soporte [7].

Para la presente investigación, se consideró la extracción de características a partir de YAMNet (*Yet Another Mobile Network*, en inglés). Este modelo es un clasificador de audios que contiene 521 clases; emplea la arquitectura MobileNetV1 [8]. YAMNet fue entrenado con un *dataset* compuesto por 2.1 millones de audios

etiquetados. El modelo clasifica los sonidos de entrada al identificar si el audio presentado contiene, por ejemplo: habla, gritos, música, silbidos, estornudos, aplausos, maullido de gatos, entre otros.

En la Figura 2 se muestra el proceso para realizar inferencias con el modelo desarrollado. En el proceso se considera la obtención de la señal de audio, el uso de YAMNet, la aplicación de la técnica de aprendizaje por transferencia mencionada y el uso del modelo clasificador desarrollado.

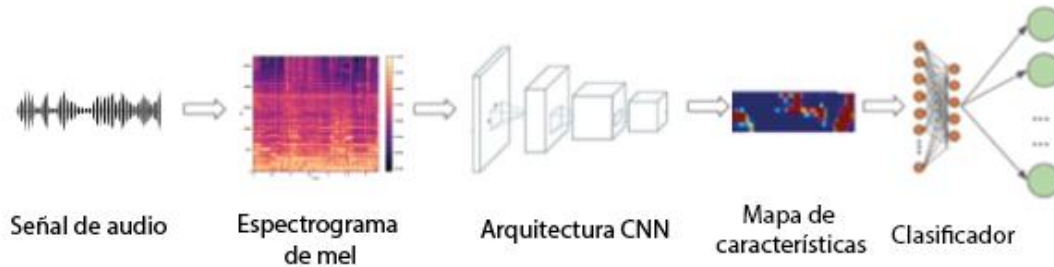


Figura 2. Proceso para entrenar y realizar inferencia con el modelo desarrollado [8].

Primero, es necesario obtener la señal de audio a clasificar. La señal debe ser mono, con una frecuencia de muestreo de 16 kHz y con rango de amplitud de $[-1, +1]$. Debe ser representada en un tensor unidimensional de tipo flotante [9]. Después, se calcula el espectrograma de Mel de la señal de audio; este procesamiento es realizado por YAMNet. El espectrograma de Mel obtenido es utilizado como entrada para el modelo de YAMNet. Posteriormente, se emplea la técnica de aprendizaje por transferencia mencionada a la penúltima capa del modelo YAMNet. Finalmente, las características extraídas son la entrada al modelo clasificador desarrollado para realizar la clasificación.

Aplicación móvil

Se desarrolló la aplicación para su uso en Android en Android Studio. Se utilizó el lenguaje de programación Kotlin y el lenguaje de marcado XML. Para facilitar la implementación de la aplicación, se empleó el componente de navegación de Android Jetpack, el cual ayuda a reducir el código necesario y el seguir prácticas apropiadas.

La pantalla principal se muestra en la Figura 3. En ella se muestran dos botones con distintas funcionalidades.

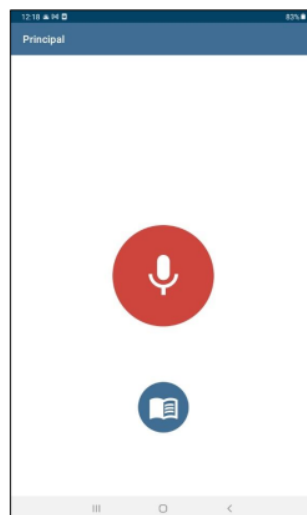


Figura 3. Pantalla principal. Elaboración propia.

Al presionar el botón rojo ubicado en la pantalla principal, la aplicación comienza a grabar para llevar a cabo el reconocimiento. El espacio en blanco situado en la parte superior de la aplicación está destinado para mostrar la salida obtenida al realizar el reconocimiento. Al presionar el botón azul, el usuario se dirige a la lista de palabras que se han registrado. Esta pantalla se muestra en la Figura 4.

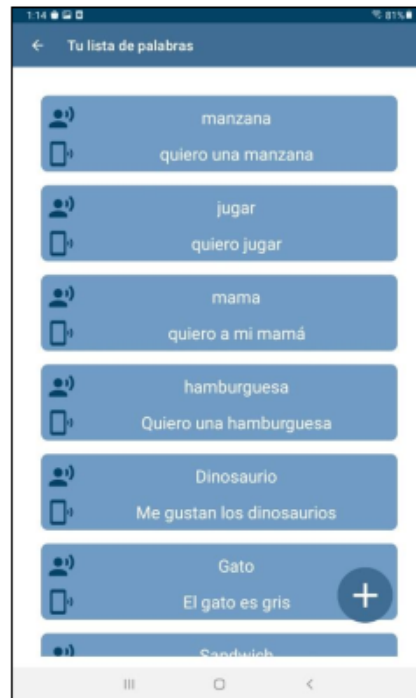


Figura 4. Lista de registros. Elaboración propia.

En la pantalla en donde se muestra a lista de registros, es posible realizar diferentes acciones. En caso de que el usuario seleccione uno de los registros, se dirige a la interfaz que muestra el registro y permite su entrenamiento, eliminación o modificación. Esta pantalla se muestra en la Figura 5. Si la persona desea añadir un nuevo registro, puede realizarlo al presionar el botón "+" ubicado en la parte inferior derecha de la pantalla de la lista de registros (ver Figura 4). La interfaz para añadir nuevos registros se observa en la Figura 6.



Figura 5. Interfaz para modificar, eliminar o entrenar registro. Elaboración propia.

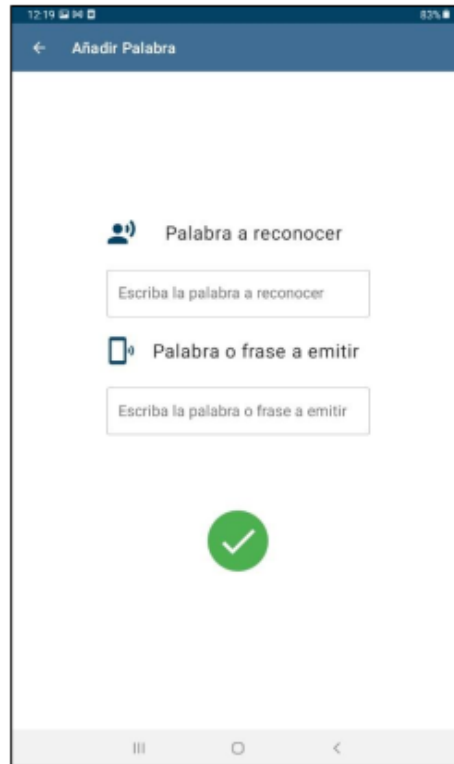


Figura 6. Interfaz para añadir nuevo registro. Elaboración propia.

Resultados y discusión

Clasificación para el caso I-DL

Se realizaron diversas experimentaciones para el entrenamiento de la red neuronal con el dataset del caso I-DL. En ellas, se consideraron 60 épocas, un *batch* de 16, como función de pérdida se utilizó *Sparse Categorical Crossentropy* y como optimizador se empleó Adam. Se entrenó la red neuronal para el reconocimiento de 5 palabras, utilizando 30, 35 y 45 repeticiones por palabra. Las repeticiones restantes fueron utilizadas para la evaluación del modelo. En la Tabla 1 se muestran los resultados al entrenar la red neuronal con 30, 35 y 40 repeticiones.

Tabla 1. Entrenamiento con dataset I-DL para el reconocimiento de cinco palabras, considerando 30, 35 y 40 repeticiones por palabra.

Cantidad de datos para entrenamiento por palabra	Entrenamiento		Evaluación	
	Error	Exactitud	Error	Exactitud
30	0.0354	0.9866	5.1268	0.64
35	0.0553	0.9828	4.1892	0.77
40	0.1213	0.9648	3.2883	0.69

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 1 se observa que el mayor porcentaje de exactitud obtenido es de un 77% al considerar 35 repeticiones por palabra durante el entrenamiento. Al aumentar la cantidad de palabras, el porcentaje disminuye a un 69%. Para conocer a mayor profundidad la manera en la que el modelo realizó las predicciones, se obtuvo la matriz de confusión del modelo entrenado con 35 repeticiones. Éste se muestra en la Figura 7.

	PawPatrol	Caricatura	Sándwich	Teléfono	Dinosaurio
PawPatrol	15	1	0	4	0
Caricatura	0	15	4	0	1
Sándwich	0	2	16	1	1
Teléfono	2	2	0	16	0
Dinosaurio	1	4	0	0	15

Figura 7. Matriz de confusión obtenida de modelo entrenado con 35 palabras. Elaboración propia.

Para la evaluación, se utilizaron 20 repeticiones por palabra. Como se observa en la matriz de confusión, el modelo clasificó correctamente 15 de las 20 repeticiones de las palabras PawPatrol, caricatura y dinosaurio; mientras que las palabras sándwich y teléfono fueron clasificadas de manera correcta 16 veces de 20 repeticiones mostradas en total.

Con la finalidad de analizar la manera en la que la cantidad de clases (palabras a reconocer) repercute en la exactitud obtenida por el modelo, se realizaron experimentaciones considerando la clasificación de 2 a 5 palabras. El entrenamiento se realizó bajo las mismas condiciones mencionadas anteriormente en cuanto al número de épocas, *batch*, función de pérdida y optimizador. Al obtener una mayor exactitud al considerar 35 repeticiones por palabra en las pruebas anteriores, se consideró esa cantidad para realizar estas experimentaciones. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación en la clasificación de 2, 3, 4 o 5 palabras, considerando 35 repeticiones.

Número de palabras	Entrenamiento		Evaluación	
	Error	Exactitud	Error	Exactitud
2	0.0151	1	0.6529	0.95
3	0.0306	1	0.7973	0.8667
4	0.0353	0.9929	1.1667	0.7626
5	0.0553	0.9828	4.1892	0.77

Fuente: elaboración propia.

La exactitud obtenida al considerar dos palabras en la evaluación del modelo es de un 95%. Este porcentaje se reduce a un 86.67% al aumentar la cantidad de palabras a reconocer a tres. Con cuatro palabras, se reduce un 10.41% al porcentaje obtenido en el caso anterior. Sin embargo, al considerar cinco palabras, el porcentaje obtenido aumenta a 77% de exactitud.

Clasificación para el caso Y-DM

Para el caso Y-DM, se consideró el entrenamiento para el reconocimiento de tres palabras. Al igual que en el caso I-DM, se consideraron 60 épocas, un *batch* de 16, *Sparse Categorical Crossentropy* como función de pérdida y Adam para la optimización. Se realizó una variación en la cantidad de repeticiones utilizadas para el entrenamiento del modelo de 35 y 45. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Entrenamiento con dataset Y-DM para el reconocimiento de tres palabras, considerando 35 y 45 repeticiones por palabra.

Cantidad de datos para entrenamiento por palabra	Entrenamiento		Evaluación	
	Error	Exactitud	Error	Exactitud
35	0.1408	0.981	1.0104	0.65
45	0.2305	0.9185	0.9515	0.5167

Fuente: elaboración propia.

Es posible observar que, el porcentaje obtenido al considerar 35 repeticiones por palabra es de un 65%; sin embargo, este porcentaje se ve reducido al aumentar la cantidad de palabras a 45, teniendo como resultado un 51.67% de exactitud. En la Figura 7 se muestra la matriz de confusión obtenida por el modelo entrenado con 35 repeticiones. Se utilizaron 20 repeticiones por palabra para la evaluación.

	Agua	Kenia	Silla
Agua	10	8	2
Kenia	2	17	1
Silla	3	5	12

Figura 8. Matriz de confusión obtenida de modelo entrenado con 35 repeticiones. Elaboración propia.

Pruebas de usabilidad

Estas pruebas se realizaron al caso I-DL y también a su tutor. Primero se plantearon una serie de instrucciones que permitieron evaluar la facilidad del usuario y del tutor para utilizar la aplicación desarrollada. Las instrucciones dadas para el tutor son las siguientes:

1. Ve a la lista de registros.
2. Al terminar la instrucción anterior, agrega un nuevo registro.
3. Desde la página de inicio, identifica la manera de eliminar un registro o modificarlo.
4. Después de la instrucción anterior, regresa a la página principal.

Para el caso del usuario, se añadieron las siguientes dos instrucciones:

- Utiliza la aplicación para iniciar una grabación y así, la aplicación reconozca lo que quieres decir.
- Desde la página de inicio, busca la manera de entrenar un registro.

Después de leer cada una de las instrucciones, se cronometraba el tiempo para conocer cuánto tardaba la persona en realizar la instrucción, se registró la cantidad de errores que cometió la persona, la seguridad que demostró y la frustración que mostraba. Estas dos últimas características por evaluar fueron calificadas en un rango de 0 a 5, siendo 0 el valor menor y 5 el más alto. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4 para el caso del tutor, y en la Tabla 5 para el usuario.

Tabla 4. Resultados obtenidos de pruebas de usabilidad aplicadas a tutor de caso I-DL.

Instrucción	Ejecución de tarea		Esfuerzo		Satisfacción
	¿Pudo realizar la tarea? (Sí/No)	Seguridad (0-5)	Cantidad de errores	Tiempo total para ejecutar tarea	Frustración al realizar la tarea (0-5)
1. Ve a la lista de registros.	Sí	5	0	3 seg	0
2. Al terminar la instrucción 1, agrega un nuevo registro.	Sí	4	0	1 min 22 seg	3
3. Desde la página de inicio, busca la manera de eliminar un registro o modificarlo.	Sí	1	1	1 min 18 seg	4
4. Regresa a la página principal.	Sí	5	0	4 seg	0

Fuente: elaboración propia.

El tutor del caso I-DL fue capaz de realizar todas las instrucciones solicitadas. Para el caso de la instrucción 1 y 4, comentó que los iconos utilizados para añadir registro y regresar a la página principal son útiles y entendibles. Al realizar la instrucción 2, comentó que sería útil la modificación del color del botón; con la finalidad de que este resulte más llamativo a la vista y sea captado fácilmente por el usuario. Al realizar esta instrucción, el tutor mostró

un poco de frustración, ya que no entendía qué escribir en el cuadro que solicita “Palabra o frase a emitir” (véase Figura 6). Se comentó que el uso de una frase como “Frase que quieres que se escuche” es más entendible para él. Al pedirle al tutor que realizara la instrucción 3, mostró dificultad para identificar que es necesario presionar el registro para su modificación o eliminación. El tutor comentó: “*primero estaba buscando los tres puntitos, luego intenté deslizar y ya después pensé en presionar el registro*”. El tutor recomendó que el registro pueda visualizarse como botón para identificar fácilmente que es posible presionarlo para su configuración.

Tabla 5. Resultados obtenidos en las pruebas de usabilidad aplicadas al caso I-DL.

Instrucción	Ejecución de tarea		Esfuerzo		Satisfacción
	¿Pudo realizar la tarea? (Sí/No)	Seguridad (0-5)	Cantidad de errores	Tiempo total para ejecutar tarea (seg)	Frustración al realizar la tarea (0-5)
1. Utiliza la aplicación para empezar una grabación y así, la aplicación reconozca lo que quieres decir.	Sí	5	0	1	0
2. Ve a la lista de registros	Sí	5	0	5	0
3. Después, agrega un nuevo registro.	No	0	0	3	5
4. Desde la página de inicio, busca la manera de eliminar un registro o modificarlo.	Sí	1	1	40	4
5. Desde la página de inicio, busca la manera de entrenar un registro.	Sí	1	1	40	4
6. Regresa al inicio	Sí	5	0	2	0

Fuente: elaboración propia.

El caso I-DL mostró facilidad para iniciar grabación (instrucción 1), ir a la lista de registros (instrucción 2) y para regresar a la pantalla principal (instrucción 6). Sin embargo, la persona no fue capaz de añadir un nuevo registro, puesto que aún no sabe leer y escribir. Al igual que el tutor, le tomó tiempo a la persona el identificar que es posible presionar el registro para su modificación y también para su entrenamiento. Es importante mencionar que la persona no presenta complicaciones motoras que le dificulten realizar movimientos precisos utilizados, por ejemplo, para presionar los botones de la aplicación.

Discusión

Durante el levantamiento de datos para la generación del conjunto de datos, se tuvieron complicaciones externas al proyecto de investigación. En ocasiones las personas se mostraban cansadas antes de iniciar las grabaciones debido a actividades que recién terminaban de realizar. También, fue necesario conocer que para el caso de disartria media existía un límite de repeticiones a grabar en un día, ya que la persona mostraba signos de fatiga cuando se intentaba realizar una mayor cantidad de repeticiones por día de las que normalmente se realizaban.

En el caso de disartria leve fue posible observar que, al aumentar la cantidad de palabra a reconocer, el porcentaje de reconocimiento se reducía. Sin embargo, al considerar 4 y 5 clases, se obtuvo una ligera variación. Se deduce que después de 4 clases, el porcentaje presenta una mínima variación al aumentar la cantidad de palabras. No obstante, es necesario continuar con las experimentaciones para su comprobación. En [10] se expone el desarrollo de un modelo CNN para el reconocimiento de 12 palabras en el idioma italiano; en el cual se utilizaron 1000 repeticiones de 3 personas para realizar el entrenamiento del modelo. Obteniendo un 57.5% de exactitud durante las pruebas de evaluación. En [3] se desarrollan dos modelos, CNN y CRNN (*Convolutional Recurrent Neural Network*, por sus siglas en inglés) para el reconocimiento de 16 palabras en inglés. Para el entrenamiento, se utilizó el dataset TORGO, donde se extrajeron entre 30 y 59 repeticiones para cada una de las palabras a reconocer. Durante la evaluación, se obtuvo un 31.4% de exactitud con el modelo CNN y un 40.6% con la CRNN. Los resultados de la presente investigación muestran que, al tener una cantidad insuficiente para el entrenamiento de una red desde cero, el uso de técnicas de aprendizaje por transferencia son una opción para obtener un mayor

porcentaje de exactitud. No obstante, es necesario realizar experimentaciones con una mayor cantidad de palabras a reconocer para su comprobación.

En el desarrollo de la aplicación, fue posible reconocer el panorama de oportunidades que se brinda al tener la oportunidad de interactuar con un modelo, en este caso una red neuronal, por medio de un dispositivo móvil. Con la presente investigación, se plantean no sólo las bases para el desarrollo del modelo, también se consideran aquellos aspectos a tomar en cuenta para que las personas con disartria puedan utilizarlo. Con ello, se busca tener un sistema funcional y fácil de utilizar, el cual esté disponible para todos aquellos que lo requieran.

Trabajo a futuro

Con la finalidad de analizar el comportamiento del modelo a mayor profundidad, es necesario realizar pruebas con una mayor cantidad de casos de personas con disartria leve y moderada. También es necesario aumentar la cantidad de palabras a reconocer. Es decir, se propone continuar con el *dataset* generado para continuar con las experimentaciones. También es necesario realizar pruebas de usabilidad considerando a una persona con restricción motora, con la finalidad de analizar si una persona bajo estas condiciones presenta alguna dificultad al interactuar con la aplicación. Es necesario realizar modificaciones a la aplicación, considerando lo comentado y observado por los participantes en las pruebas de usabilidad realizadas; esto con la finalidad de hacer la aplicación aún más intuitiva y que los usuarios tengan una experiencia positiva y útil durante su uso.

Conclusiones

Para el desarrollo del sistema, fue necesario desarrollar un conjunto de datos para cada uno de los casos. A pesar de la escasez de datos, fue posible obtener un 77% de exactitud en el reconocimiento de 5 palabras para el caso de la disartria leve y un 65% en el reconocimiento de 3 palabras para la disartria media. Esto gracias al uso de técnicas de aprendizaje por transferencia que permiten trabajar con un conjunto de datos pequeño. En los dos casos, los mejores resultados se presentaron al considerar 35 repeticiones por palabra. Se realizaron pruebas de usabilidad del sistema, en las que se observó la importancia de considerar a un tutor para la manipulación de los registros, debido a las restricciones que el usuario pueda presentar debido a la edad (no saber leer y/o escribir).

Agradecimientos

Se agradece el apoyo obtenido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) al primer autor del presente artículo. Apoyo otorgado para realizar los estudios en el programa de maestría en Ciencias de la Computación en el Tecnológico Nacional de México campus Hermosillo.

Referencias

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), "Estadísticas a propósito del día internacional de las personas con discapacidad," México, 2019. [Online]. Available: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2019/Discapacidad2019_Nal.pdf.
- [2] Mayo Clinic, "Síntomas y causas," *Disartria*, 2019. <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseasesconditions/dysarthria/symptoms-causes/syc-20371994> (accessed Sep. 27, 2020).
- [3] H. Albaqshi and A. Sagheer, "Dysarthric Speech Recognition using Convolutional Recurrent Neural Networks," *Int. J. Intell. Eng. Syst.*, vol. 13, no. 6, pp. 384–392, 2020, doi: 10.22266/ijies2020.1231.34.
- [4] "Voiceitt." <https://www.voiceitt.com/why-voiceitt.html> (accessed Sep. 24, 2020).
- [5] Therapy Box, "VocaTempo," 2020. <https://therapy-box.co.uk/vocatempo> (accessed Sep. 22, 2020).
- [6] MathWorks, "Transfer Learning for Training Deep Learning Models." <https://la.mathworks.com/discovery/transfer-learning.html> (accessed Apr. 05, 2021).
- [7] F. Berzal, *Redes Neuronales & Deep Learning*. Independently published, 2019.
- [8] C. Malmberg, "Real-time Audio Classification on an Edge Device - Using YAMNet and TensorFlow Lite," 2021.
- [9] P. Manoj and D. Ellis, "YAMNet." <https://github.com/tensorflow/models/tree/master/research/audioset/yamnet> (accessed Nov. 20, 2021).
- [10] D. Mulfari, G. Meoni, and L. Fanucci, "Machine learning in assistive technology: A solution for people with dysarthria," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, pp. 308–309, 2018, doi: 10.1145/3284869.3284928.
- [11] C. M. Guevara Vélez, U. Nacional, P. Ruiz, and G. Lambayeque, "Modelos ocultos de Markov para el desarrollo de un sistema de ayuda al habla para personas que sufren de disartria," pp. 141–154, 2018.

Aplicación móvil para la detección de caídas en adultos mayores

L. Hamdan Medina^{1*}, M.S. Flores Alarcón^{1**}, S.M. Flores Barajas^{1***}, C.J. Torrero Flores¹, I.J. García Moreno¹,
¹Departamento de Sistemas y Computación, TecNM/Instituto Tecnológico de La Laguna, Blvd. Revolución y
Av. Instituto Tecnológico de La Laguna S/N, Col. Centro, C.P. 27000, Torreón, Coahuila México

* lhamdanm@correo.itlalaguna.edu.mx, ** msfloresa@correo.itlalaguna.edu.mx,

***smfloresb@correo.itlalaguna.edu.mx

Área de participación: Sistemas computacionales

Resumen

El objetivo de este proyecto es ofrecer a los adultos mayores con problemas de debilidad muscular, alteraciones en su equilibrio entre otros, una herramienta que les permita comunicarse en caso de una caída; siendo ésta una de las lesiones más frecuentes en las personas adultas de 60 años o más. Para tal propósito, se desarrolló una aplicación móvil utilizando como metodología SCRUM que permita detectar una caída y al hacerlo, realiza una llamada de emergencia a los contactos registrados en la aplicación, así como también envía un mensaje de texto de auxilio. Además, se brinda una opción de planificación de medicamentos que incluye la configuración de recordatorios o alarmas.

Palabras clave: Adulto mayor, detección de caída, aplicación móvil.

Abstract

The objective of this project is to offer older adults with muscle weakness problems, alterations in their balance, among others, a tool that allows them to communicate in the event of a fall; this being one of the most frequent injuries in adults aged 60 or over. For this purpose, a mobile application was developed using a SCRUM methodology that allows detecting a fall and in doing so, makes an emergency call to the contacts registered in the application, as well as sends a text message for help. In addition, a medication planning option is provided that includes the setting of reminders or alarms.

Key words: Elderly, fall detection, mobile app.

Introducción

Las etapas del ser humano son graduales, continuas e irreversibles. En cada etapa se sufren cambios a nivel biológico, psicológico y social. La vejez es una de estas etapas y está determinada por la edad física o cronológica. El comienzo de esta etapa varía en cada país, por lo general a los 60 o 65 años según su religión, cultura e ideologías, aunque no es muy diferente al resto del mundo [1] y se le denomina persona o adulto mayor.

México ha adoptado el comienzo de la vejez a partir de los 60 años, al igual que Argentina, Colombia, Chile, Venezuela, Brasil, entre otros. En México, este criterio se basa en lo establecido en la Ley de Derechos de las Personas Adultas Mayores (LDPAM por sus siglas) que fue publicada por primera vez el 25 de junio del 2002 en el Diario Oficial de la Federación que en su artículo 3° señala que "...se entenderá por personas adultas mayores a las que cuenten con sesenta años o más de edad y que se encuentren domiciliadas o en tránsito en el territorio nacional" [2]. Este criterio está contenido en la Norma Oficial Mexicana, NOM-167-SSA1-1997 [3] para la prestación de asistencia social para menores y adultos mayores, definiendo este último aquellas personas que cuente con 60 años o más.

En nuestro país la población es aún joven pero no tanto, debido a que el segmento de población de adultos mayores está creciendo rápidamente. En México residían 15.4 millones de personas adultos mayores en el 2018 de las cuales 1.7 millones viven solos, esto significa que cuatro de cada diez adultos mayores viven solos. El índice de envejecimiento en el 2015 fue de 38 adultos mayores por cada 100 niños según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía [4] y se espera que en el año 2050 existan 66.5 de adultos mayores por cada 100 niños [5]

Los adultos mayores enfrentan problemas de diferente índole no sólo con aquellos relacionados con su desgaste físico sino también problemas como la violencia, abuso, discriminación, pobreza, falta de empleo, soledad y accidentes; siendo éstos últimos los más frecuentes. Dentro de la clasificación de lesiones o accidentes que mayormente se presentan son las caídas [6] que pueden impedir que un adulto mayor logre un envejecimiento activo. A nivel mundial y en México los accidentes por caídas son consideradas un síndrome geriátrico y un problema de salud pública ya que es la primera causa de mortalidad hospitalaria en los adultos mayores [7] y una de las principales causas de discapacidad [8].

En Estados Unidos, se denomina adulto mayor a aquella persona que tiene 65 años o más; en el 2018 tenía una población de 52 millones de adultos mayores [9]. De esta población, cerca de 36 millones sufren una caída cada año, resultando en más de 32,000 muertes debido a este accidente. Uno de cada cinco adultos mayores que sufren una caída les causa lesiones como fracturas (siendo la más común la fractura de cadera) y golpes en la cabeza. Para el año 2030 esta población crecerá a 73 millones de los cuales 52 millones sufrirán caídas [10]. A nivel mundial, la población está envejeciendo debido a un aumento constante en la esperanza de vida [11], por lo tanto, los sistemas de salud deben de responder a las necesidades específicas de los adultos mayores entre ellas, lo referente a la prevención de accidentes y lesiones, así como el uso de dispositivos para el seguimiento y monitoreo de enfermedades físicas y mentales [12].

De lo anterior, es importante impulsar el desarrollo de aplicaciones tecnológicas que contribuyan a cubrir las necesidades de los adultos mayores. Aunque éstos no conozcan todas las tecnologías ni las aplicaciones en un dispositivo electrónico como el teléfono celular y/o tablet, la realidad es que hay mucho por ofrecer en estos dispositivos como por ejemplo comandos de voz, una pantalla más grande, teclado inteligente, seguimiento de actividad física, comunicación más rápida por mencionar sólo algunos. [13] [14]

Por lo anterior el objetivo del presente trabajo es ofrecer una herramienta económica que permita a los adultos mayores a comunicarse en caso de caída, así como proporcionar opciones de comandos de voz y recordatorios de ingesta de medicamentos.

Desarrollo

Como se mencionó, los adultos mayores son más propensos a sufrir accidentes, dentro de casa o fuera de ella. En cualquier caso, los accidentes pueden provocar lesiones que no les permita realizar ciertos movimientos como ponerse en pie o sentarse. Este proyecto se enfoca al desarrollo de una aplicación móvil creada especialmente para adultos mayores, brindando la posibilidad de solicitar ayuda en caso de ocurrir una caída. Otra funcionalidad que se incluye en la aplicación es un planificador y recordatorio de la ingesta de medicamentos con el fin de no olvidar los días y horarios establecidos por el médico ya que, al olvidar tomar las medicinas puede ocasionar mareos, dolores de cabeza intensos, presión arterial alta por mencionar sólo algunos ejemplos que, a su vez, pueden provocar accidentes como las caídas.

En la Tabla 1 se muestran algunas aplicaciones para la detección de caídas que se encuentran disponibles en Google Play [15] como se puede observar sólo una aplicación ofrece programación de medicamentos, pero no comandos de voz y todas requieren de la adquisición de un plan mensual o anual lo que significa un gasto para una persona que por lo general cuenta con recursos económicos limitados.

Tabla 1. Comparativa de aplicaciones similares

<i>Aplicaciones para celular</i>	<i>Público objetivo</i>	<i>Contacto de emergencia</i>	<i>Reconocedor de voz</i>	<i>Programación de medicamentos</i>	<i>Nivel de sensibilidad de la caída</i>	<i>GPS</i>	<i>Costo</i>
Fall Detection	Deportistas	✓			✓	✓	✓
AlerteChute	General	✓			✓	✓	✓
Chk-In Fall Alert	General	✓		✓		✓	✓
Proyecto propuesto	Adultos mayores	✓	✓	✓			

Durante esta investigación se tomó en cuenta la relación de los adultos mayores y las nuevas tecnologías especialmente la utilización del teléfono celular. Una de las dificultades de mayor relevancia que está relacionada a la edad de los ahora adultos mayores es que en su época no tuvieron acceso a dispositivos inteligentes porque

aún no avanzaban las tecnologías como lo hacen actualmente. Esto cobra relevancia porque es un obstáculo entender el uso de estos aparatos, aunque ofrezcan, como ya se mencionó, muchos beneficios a este sector de la población. La adaptación a los dispositivos móviles es un factor clave considerando que los fabricantes de estos sólo piensan en usuarios jóvenes que han crecido con la tecnología y no en adultos mayores. Sin embargo, una de las motivaciones que tienen los adultos mayores es la comunicación, ya sea llamando desde cualquier lugar a un conocido o familiar como enviar y recibir fotografías, videos, actualizaciones de información de los nietos, familia, amigos entre otros. Lo anterior, hace que el adulto mayor esté motivado por aprender a utilizar el teléfono celular o tablet más allá de los obstáculos que se puedan presentar por la brecha generacional.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la metodología ágil Scrum, en vista de que diversos estudios han mostrado que es una metodología con respuestas rápidas para los clientes y exitosa en el desarrollo y entrega de aplicaciones de software. Se ha implementado en empresas como Toyota, Fuji-Xerox, Honda y Cannon, además de ser la más utilizada en empresas de desarrollo de software y recientemente en ambientes diferentes al desarrollo de software. Es una metodología que ordena los puntos de construcción del software para entregas de valor al cliente y la multiplicación de eficiencia del equipo de trabajo en un contexto en el que continuamente se reúne con el cliente para realizar entregas y mejorar el producto. Los desarrolladores elevan su productividad y la calidad del producto ante el competidor. [16][17]

Scrum ayuda al equipo de trabajo y a las organizaciones a generar valor en soluciones adaptativas para problemas complejos, los roles que se encuentran en la metodología son; el *Scrum Master* o líder que guía la construcción de una etapa de la aplicación, esta etapa es seleccionada del product backlog, que en su definición participó el *Product Owner* o cliente. El *Scrum Team* o equipo de trabajo convierte los pendientes en un incremento de la aplicación de software. Al término del sprint todos los participantes revisan el incremento del software y preparan el próximo sprint. [18]

En la revisión anual que realiza digital.ai encontró que las empresas de desarrollo de software incrementan la distribución de su fuerza de trabajo, así como al trabajo remoto y que piensan continuar de esta forma, aunque la pandemia termine. Los datos que obtuvieron indican que el 3% de las empresas planean el regreso a tiempo completo de sus empleados, el 25% permanecerán completamente en modo remoto y el 56% está pensando en un modelo híbrido en donde los trabajadores regresan a la oficina, pero no de manera diaria. [19]

Resultados y discusión

Para la primera versión de la aplicación, el entorno operativo que se consideró fue Android debido a que muchos adultos mayores cuentan con teléfonos celulares con este sistema operativo. La implementación del proyecto se realizó en Android Studio [20]. La versión piloto de la aplicación fue instalada en varios teléfonos celulares con el sistema operativo antes mencionado para realizar pruebas de funcionalidad y facilidad de uso.

En las pruebas de funcionalidad, se tomaron precauciones para que no hubiera lesiones durante esta fase y tomando en cuenta los resultados, se realizaron ajustes en el módulo de detección de caídas hasta que las pruebas fueron aprobadas. En las pruebas de facilidad de uso, también se realizaron ajustes ya que los adultos mayores que probaron la aplicación tenían dificultades físicas distintas como movimiento de brazos, movimiento de dedos, debilidad visual, entre otros; siendo factores importantes que dieron lugar a rediseñar la presentación de la información en la pantalla del celular. En la Figura 1 se muestran los Sprints para la primera versión de la aplicación.

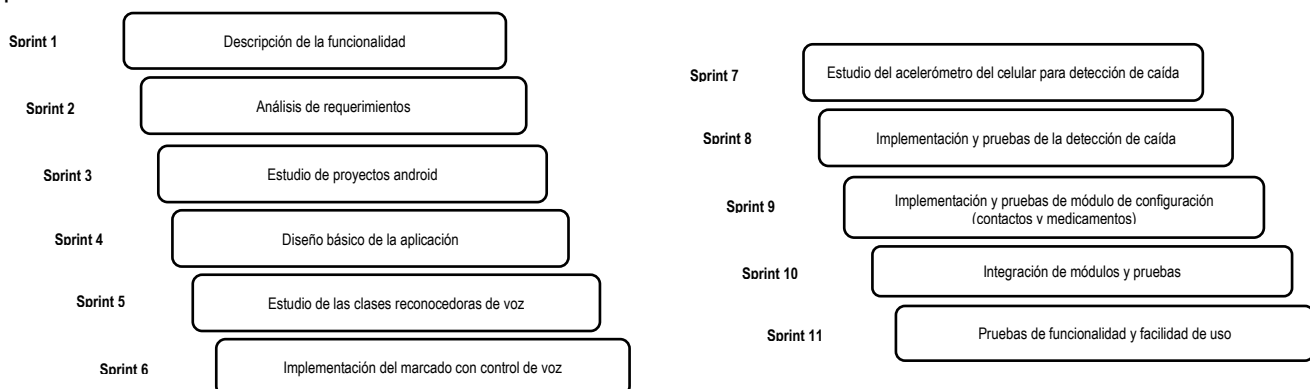


Figura 1. Planificación de los Sprints para el desarrollo de la aplicación.

Requerimientos

En este contexto, se analizaron varias dificultades de los adultos mayores para el desarrollo de este proyecto, entre las cuales se consideró que la aplicación debería de tener una interfaz intuitiva para facilitar su utilización. Además, se consideran los siguientes requerimientos como son:

- Ofrecer una interfaz fácil de comprender para usuarios con poca o nula experiencia en el uso del teléfono celular.
- Efectuar llamadas de emergencia, este requisito se realizó en dos modalidades como se explica a continuación:
 - Llamada de emergencia activada por medio de voz o presionando un botón.
 - Llamada de emergencia al detectar una caída.
 - En este caso, tiene un tiempo de respuesta inferior a 10 segundos para que la aplicación realice la llamada automática.
- Ofrecer al usuario una manera sencilla de recordar los medicamentos a ingerir.
- La aplicación debe contar con imágenes que describan muy bien su función con la finalidad de minimizar errores en su uso y facilitar la adaptación del usuario a esta.
- Presentar información clara para evitar ambigüedades.

Análisis

De acuerdo con lo anterior, se observó que la aplicación debía contar con tres secciones principales las cuales se deben presentar de manera sencilla y en primer plano (acceso directo). Estas tres secciones son las siguientes:

- Contacto de emergencia. La aplicación debe realizar la llamada de emergencia. Para ejecutar esta acción, se deben registrar números de teléfono en caso de ocurrir una emergencia. La llamada será realizada de dos maneras: por control de voz y/o al detectar una caída. Además de las llamadas de emergencia, se consideró el envío de mensajes de auxilio a los números o contactos registrados.
- Control de voz. El usuario debe hablar para activar la llamada de emergencia.
- Planificador de medicamentos y recordatorio. La aplicación debe permitir registrar los medicamentos y en cada caso, enviar una alerta al usuario (recordatorio).

Después de analizar los requisitos, se consideró que la aplicación debería contener los módulos que se muestran en la Figura 2 que a continuación se describen:

- El módulo reconocedor de voz, su función es reconocer las palabras clave y ejecutar las órdenes.
- El módulo de detección de caídas es detectar la caída del celular y reaccionar. Esta función se basa en el acelerómetro del celular, el cual permitirá detectar movimientos poco usuales que puedan interpretarse como una caída y siendo el caso, la aplicación debe iniciarse, ejecutar la llamada de emergencia y enviar un mensaje de auxilio.
- El módulo de llamada de emergencia (marcado) y mensajes debe realizar la llamada y enviar un mensaje a los números de emergencia registrados en la aplicación. La llamada puede realizarse por medio de un comando de voz y/o de manera automática cuando existe la detección de una caída.
- El módulo de medicamentos tiene la función de notificar al usuario la ingesta de medicamentos.
- El módulo de configuración permite registrar los números de emergencia, así como un mensaje de auxilio, los medicamentos y sus horarios de ingesta.

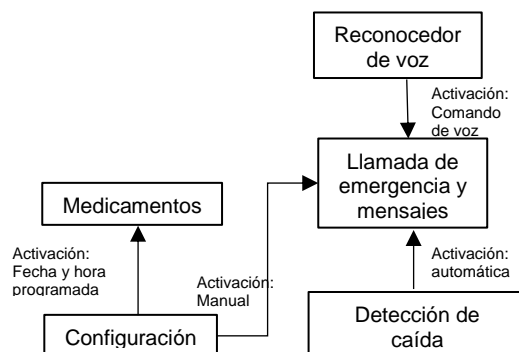


Figura 2. Módulos necesarios para la aplicación.

Por lo anterior, se determinó que la aplicación deberá iniciar con una pantalla de bienvenida con tiempo de duración máxima de tres segundos. Enseguida presentará el menú principal con tres botones u opciones las cuales se describen a continuación:

- Botón de configuración: El usuario configurará los medicamentos y recordatorios, así como los números de teléfonos de emergencia. Deberá contar con la opción de regresar al menú principal.
- Botón de Emergencia: Al presionar este botón, se abrirá un cuadro de diálogo en el que aparecen los números de teléfono de emergencia registrados, así como la opción de realizar la llamada al 911 (número de emergencia gratuito). Las llamadas podrán realizarse presionando cualquiera de las dos opciones. Al realizar la llamada de emergencia, se deberá contar con crédito disponible ya que genera costo el cual dependerá del proveedor del servicio y del contrato adquirido.
- Botón de ayuda: Se abrirá un cuadro de diálogo con la información detallada del uso de la aplicación.

El tamaño de éstos deberá ser proporcional a la pantalla del teléfono celular, de tal manera que ocupen todo el espacio para facilitar el uso de la aplicación y puedan ser identificados por el usuario.

Diseño

De acuerdo con el análisis, se realizó el diseño básico de la aplicación. En la Figura 3 se puede observar la propuesta de diseño, en ella se aprecia la etiqueta "Principal", esta pantalla es la principal de la aplicación y contiene cuatro botones: llamadas de emergencia y SOS (A), configuraciones (B), medicaciones (C) y de ayuda. Enseguida se describe la funcionalidad de cada botón mostrada en la Figura 1:

A. Es la llamada de emergencia que puede ser a un teléfono registrado y al teléfono de emergencias 911. Además, se realizará el envío de un mensaje de texto a un teléfono registrado en caso de solicitar auxilio.

B. Es la configuración de contactos en caso de emergencia. El orden en que se agregan los números de teléfono de emergencia es la prioridad que se genera al momento de activarse la llamada de emergencia.

C. Es la configuración de los medicamentos. Se puede agregar el nombre del medicamento, la frecuencia de la ingesta o toma y los días, para lo cual se debe seleccionar el calendario. En este caso, aparecerán las opciones para seleccionar el día de inicio y fin de la toma del medicamento y se muestra en **D.**

Ayuda. Describe el uso de la aplicación, información general de la versión y de los desarrolladores.

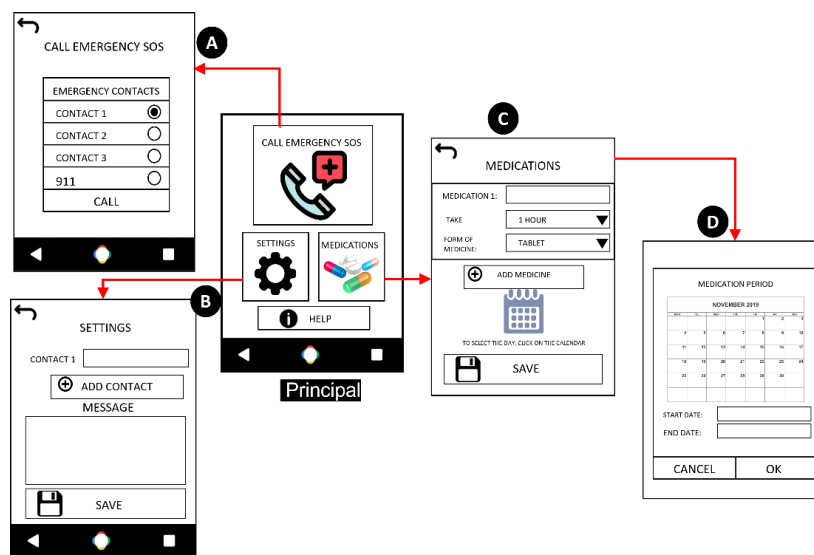


Figura 3. Descripción de las vistas o pantallas de la aplicación completa.

Cabe mencionar que esta aplicación se encuentra en la etapa de recolección de datos, por tal motivo aún no se puede presentar de forma cuantitativa datos que nos permitan ampliar la discusión en el uso de la misma.

Al iniciar la aplicación, aparece la pantalla de inicio o bienvenida a la aplicación cuya duración es de tres segundos aproximadamente ya que es una vista de carga únicamente, en la Figura 4 se muestra el inicio de la aplicación.

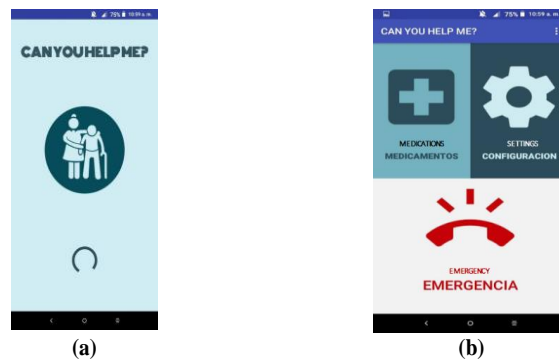


Figura 4. Inicio de la primera versión de la aplicación (a) y menú principal (b).

Cuando se ejecuta la aplicación y termina la carga, aparece la pantalla de inicio que se muestra en Figura 4 (a). Enseguida, se presenta el menú principal Figura 4 (b). El menú está dividido en tres partes, las cuales se pueden identificar por las imágenes. El diseño se modificó debido a las pruebas mencionadas anteriormente. Como se puede observar, el botón de llamada de emergencia es más grande y se ubica en la parte central baja ocupando la mayor parte de la pantalla. El botón de ayuda se eliminó de esta pantalla principal debido a que causaba confusión al momento de utilizar la aplicación.

Botón de “Emergencia” del Menú Principal.

Esta opción realiza la llamada de emergencia al contacto registrado en la aplicación la cual se muestra en la Figura 4 (b). Además, se envía un mensaje de alerta al mismo contacto.

Botón “Medicamentos” del Menú Principal.

Al seleccionar la opción “Medicamentos”, automáticamente se mostrará la vista que se muestra en la Figura 5 (a). El usuario deberá ingresar los medicamentos para llevar el registro y control de los mismo. Para agregar los medicamentos se debe presionar el botón “+” que se encuentra en la parte inferior derecha de la pantalla.

Al presionar el botón para agregar medicamentos, aparecerá una vista como se muestra en la Figura 5 (b). En esta pantalla el usuario deberá ingresar datos importantes del control de medicamentos.

En la Figura 5 (b) se muestra la información que deberá ingresar el usuario y que a continuación se detalla. El campo “Nombre de medicina” es el nombre del medicamento que se va a registrar en la aplicación. El campo “Tipo” se refiere a la forma en que se va a ingerir, por ejemplo, si es tableta, inyección o suspensión. El usuario deberá seleccionar una opción de las siguientes: “Tableta/Comprimido”, “Inyección” o “Suspensión”. La siguiente información, “Dosis”, en este campo el usuario debe de registrar la cantidad a tomar, por ejemplo, cuantas tabletas se deberá tomar. En el campo “Horas” se registra cada cuanto tiempo se tendrá que tomar el medicamento.

En el campo “Días de toma” se ingresa el número de días que el usuario deberá tomarse el medicamento. Por último, la opción de “Prioritario” se refiere a que se le notificará al usuario la hora de toma del medicamento sin importar la hora (notificaciones nocturnas) en la que se programe la alarma, esto se le hace saber al usuario cuando selecciona esta opción ya que se muestra un cuadro de dialogo informando al usuario la acción que se realizará. En caso de no marcar la opción “Prioritario”, los recordatorios serán diurnos.

La opción de “ELIMINAR” borra el registro de ese medicamento.

La opción de “GUARDAR”, almacena la información del medicamento y prepara las notificaciones a realizar.

Enseguida aparecerá una pantalla como se muestra en la Figura 5 (c) y se mostrarán todos los medicamentos registrados que el usuario registró junto con una breve descripción visible de cuanto se tiene que tomar y cada cierto tiempo. De esta forma el usuario observará los medicamentos y su horario de consumo. Proporcionando una vista sencilla y entendible para el usuario. Permitiendo a su vez el registro de cualquier cantidad de medicamentos.



Figura 5. Registro de medicamentos (a), agregar medicamentos (b) y listado de medicamentos (c).

Botón de “Configuración” del Menú Principal

La opción de “Configuración”, contiene dos botones. En el primer botón como se muestra en la Figura 6 (a), es para configurar contactos. Al presionar este botón, permite al usuario definir los contactos para llamar en caso de una caída, Figura 6 (b). Esta sección permite agregar nuevos contactos que no se encuentran en el directorio del teléfono celular. En caso de existir, se realiza una búsqueda por nombre y se agrega a la aplicación como contacto de emergencia como lo muestra la Figura 6 (c).

El segundo botón “Configurar Mensaje” como se muestra en la Figura 6 (a), se desplegará una pantalla como en la Figura 7, en esta opción se requiere que el usuario redacte el mensaje de notificación de alerta a los contactos registrados en la aplicación. Para hacer esta opción más sencilla, al ingresar el usuario observará un mensaje de alerta propuesto que el usuario puede modificar o dejarlo como está.

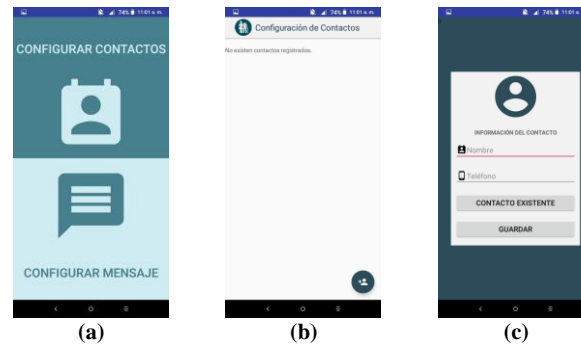


Figura 6. Configuración de mensaje (a) y contactos (b y c).

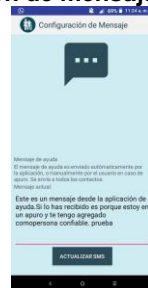


Figura 7. Configuración de mensaje.

La aplicación en funcionamiento se muestra en las siguientes imágenes (Figura 8). En la imagen (a) se observa el inicio de la aplicación con las tres secciones arriba descritas. En el caso de detectarse una caída se realiza la llamada como se muestra en la Figura 8 (b y c).



Figura 8. Funcionamiento de la aplicación.

Trabajo a futuro

Como parte del trabajo en versiones futuras, se tiene contemplado mejorar la sensibilidad ante una caída ya que es la funcionalidad principal de la aplicación. Además, se desea agregar la lectura de medicamentos por medio de la cámara del celular para que el usuario final no escriba el nombre del medicamento. Otra opción que se observó necesaria agregar a la aplicación fue crear una paleta de colores o de temas para que pueda ser cambiada por el adulto mayor debido a las debilidades visuales muy variadas presentan algunos usuarios. Además, se puede incursionar en la incorporación del uso de wearables que puedan prevenir la caída con base en la monitorización de algún biomarcador como frecuencia cardíaca, cansancio por baja calidad en el sueño, por mencionar algunos.

Conclusiones

Este proyecto se desarrolló con la colaboración de estudiantes de la carrera de ingeniería en sistemas computacionales del TecNM Campus La Laguna durante el semestre enero- junio del 2021. Los dispositivos móviles, en este caso, el teléfono celular ofrece gran variedad de aplicaciones que pueden ser utilizadas por los adultos mayores dándoles un grado de independencia y calidad de vida que es primordial a esta edad esta fue una de las conclusiones al terminar la aplicación y observar el uso de esta. Durante el desarrollo de este proyecto se comprendió mejor los obstáculos a los que se enfrentan los adultos mayores y se reflejó en el cambio del diseño que se había propuesto. El primer diseño de la aplicación no era el mejor para personas con dificultades en el movimiento de los dedos y manos. Otro problema que se presentó fue la configuración correcta del acelerómetro del teléfono celular, se realizaron pruebas de caída con protecciones para que los usuarios (no adultos mayores) fueran a resultar lastimados. Actualmente la aplicación sigue siendo probada por adultos mayores que fueron seleccionados para diversas pruebas para mejorar la sensibilidad, facilidad de uso y diferentes abanicos de colores que aporten un mayor apoyo a los adultos mayores. Por esta razón esta aplicación se encuentra en la etapa de recolección de datos, por tal motivo aún no se puede presentar de forma cuantitativa datos que nos permitan ampliar la discusión en el uso de la misma.

Agradecimientos

Agradecemos al TecNM Campus La Laguna por su apoyo a los estudiantes que participaron con mucho entusiasmo en la creación de una aplicación de utilidad para sus abuelitos. A los adultos mayores que contribuyeron (y lo siguen haciendo) enormemente con sus consejos y opiniones en pro de generar una herramienta que realmente pueda ser utilizada por ellos.

Referencias

- [1] Instituto Nacional de Geriátría, «Envejecimiento,» 13 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <http://www.geriatria.salud.gob.mx/contenidos/institucional/envejecimiento.html>. [Último acceso: 17 01 2022].
- [2] Secretaría de Desarrollo Social, «Diario Oficial de la Federación,» Cámara de Diputados, 10 05 2022. [En línea]. Available: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/ldpam/LDPAM_orig_25jun02.pdf. [Último acceso: 06 05 2022].
- [3] Secretaría de Salud, «Norma Oficial Mexicana NOM-167-SSAa-1997,» 17 noviembre 1999. [En línea]. Available: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/167ssa17.html>. [Último acceso: 16 01 2022].

- [4] INEGI, «Instituto Nacional de Estadística y Geografía,» 30 septiembre 2019. [En línea]. Available: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2019/edad2019_Nal.pdf. [Último acceso: 26 06 2022].
- [5] INAPAM-Instituto Nacional de las Personas Adultas Mayores, «Estudio de Factores relacionados con el riesgo de caídas en los albergues de la Ciudad de México del INAPAM,» Escuela de Salud Pública de México, Ciudad de México, 2019.
- [6] OMS, «Organización Mundial de la Salud,» 5 febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/envejecimiento-y-salud>. [Último acceso: 15 07 2022].
- [7] UMH United Methodist Homes, «Medical alert systems save lives,» 28 agosto 2014. [En línea]. Available: <https://www.umh.org/assisted-independent-living-blog/medical-alert-systems-save-lives>. [Último acceso: 16 07 2022].
- [8] R. G. Ma. Guadalupe y N. S. d. Snyder, «Lesiones accidentales en adultos mayores: un reto para los sistemas de salud,» *Salud Pública en México*, pp. 463 - 471, 2008.
- [9] CDC Older Falls Data, «Centers for Disease Control and Prevention,» 09 07 2020. [En línea]. Available: <https://www.cdc.gov/falls/data/index.html>. [Último acceso: 16 07 2022].
- [10] Centers for Disease Control and Prevention, «Injury Prevention & Control,» 16 12 2020. [En línea]. Available: <https://www.cdc.gov/injury/features/older-adult-falls/index.html>. [Último acceso: 16 07 2022].
- [11] United Nations-Department of Economic and Social Affairs, «World population ageing,» 2015. [En línea]. Available: https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WPA2015_Report.pdf. [Último acceso: 16 07 2022].
- [12] Pan American Health Organization, «PAHO/OMS,» 01 01 2020. [En línea]. Available: <https://www.paho.org/en/healthy-aging>. [Último acceso: 15 07 2022].
- [13] EL CEO, «La relación entre los smartphones y los adultos mayores en México no es tan mala como parece,» 10 abril 2019. [En línea]. Available: <https://elceo.com/tecnologia/la-relacion-entre-los-smartphones-y-los-adultos-mayores-en-mexico-no-es-tan-mala-como-parece/>. [Último acceso: 26 06 2022].
- [14] CENIE Centro Internacional sobre el Envejecimiento, «Los beneficios de los smarphones para personas mayores,» 1 septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://cenie.eu/es/blog/los-beneficios-de-los-smartphones-para-personas-mayores>. [Último acceso: 16 07 2022].
- [15] Google Play, [En línea]. Available: https://play.google.com/store/apps?hl=es_MX. [Último acceso: 26 08 2022].
- [16] S. I. Mariño y P. L. Alfonso, «Implementación de SCRUM en el diseño del proyecto Trabajo Final de Aplicación,» *Scientia Et Technica*, vol. 19, nº 4, pp. 413-418, 2014.
- [17] M. Hron y N. Obwegeser, «Why and how is Scrum being adapted in practice: A systematic review,» *Journal of Systems and Software*, vol. 183, 2022.
- [18] K. Schwaber y J. Sutherland, «The Scrum Guide,» Ken Schwaber and Jeff Sutherland, 2020.
- [19] Digital.ai, «15th Annual State Of Agile Report,» Digital.ai, 2021
- [20] Android Studio, «Developers» 20 agosto 2019. [En línea]. Available: <https://developer.android.com/studio/archive?hl=es-419>. [Último acceso: 16 07 2022].

Sistema IoT para la prevención de incidentes de origen eléctrico

R. Castro Valdivia¹, M. Orozco Carrera², A. Escobar Garcia³, J. Ramírez Figueroa⁴, E. J. Flores Trujillo⁵

¹Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz ricardo.castro@utcv.edu.mx, ²Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz michel.orozco@utcv.edu.mx, ³Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz arturo.escobar@utcv.edu.mx, ⁴Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz 20183L201002@utcv.edu.mx, ⁵Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz 20193L001030@utcv.edu.mx

Área de participación: Sistemas Computacionales.

Resumen

En este proyecto se logró el desarrollo de un sistema de Internet de las cosas (IoT), capaz de automatizar tareas que permiten la prevención de accidentes por causas eléctricas, así mismo se considera un producto eficaz, económico y que pueda adaptarse a cualquier terminal de la red eléctrica. Este sistema está diseñado para salvaguardar la integridad y el patrimonio de las personas ya que prevendrá accidentes graves a causa de fallos en los tomacorrientes, sean por causas normales o provocados por un error humano. El proyecto se desarrolló en base a las seis etapas de la metodología PPDIOO, las pruebas e implementación permitieron el cumplimiento de objetivos considerando la creación de la placa PCB, la cual recolecta datos a través de sensores, posteriormente enviados a través de MQTT, almacenados y visualizados en la plataforma Node Red.

Palabras clave: IoT, PCB, Automatización, MQTT.

Abstract

In this project, the development of an Internet of Things (IoT) system was achieved, capable of automating tasks that allow the prevention of accidents due to electrical causes, likewise it is considered an effective, economical product that can be adapted to any terminal of the electrical network. This system is designed to safeguard the integrity and assets of people as it will prevent serious accidents due to faults in the outlets, whether due to normal causes or caused by human error. The project was developed based on the six stages of the PPDIOO methodology, the tests and implementation allowed the fulfillment of objectives considering the creation of the PCB board, which collects data through sensors, later sent through MQTT, stored and displayed on the Node Red platform.

Keywords: IoT, PCB, Automation, MQTT.

Introducción

En el transcurso de los últimos años se han desarrollado grandes avances de múltiples tecnologías, que hacen más fácil y competente a las empresas que no solo han adoptado como una herramienta más a los sistemas de monitoreo, sino lo han tomado como punto estratégico para salvaguardar la integridad de su personal y sus equipos electrónicos. El constante crecimiento de la tecnología obliga a las empresas a mantener actualizados los sistemas informáticos, ya sea con implementar nuevos o actualizar con los que ya cuentan, esto con el fin de que los procesos que realice la empresa siempre estén funcionando de manera correcta y prevenir tiempos muertos o pérdidas. Los incendios son responsables del 31.2% de los desastres, ocasionan el 26.9% de la totalidad de la mortalidad asociada (humo, gases tóxicos, etc.). [1] Poco más de la mitad de los incendios urbanos que ocurren en México, el 52.7% para ser exactos, ocurren en las viviendas y el 41% de éstos se originan por cortocircuitos. [2] Algunos de los factores que provocan cortocircuitos en las instalaciones de los inmuebles son el incumplimiento de las mínimas normas de seguridad y el uso de materiales de mala calidad en las instalaciones eléctricas por parte de algunos constructores y desarrolladores, aunado al exceso de agua provocado por las lluvias, las tormentas eléctricas y el manejo incorrecto de la energía eléctrica por parte de las personas [3]. Según el análisis que

la Federación de Colegios de Ingenieros Mecánicos y Electricistas llevó a cabo a las estadísticas del INEGI, el 33% de las defunciones por electrocución ocurrieron en las viviendas, lo que significa que una de cada tres personas que recibió una descarga eléctrica falleció; y más de la mitad de los hogares que se incendiaron por origen de un corto circuito, el 61.7%, fueron pérdida total.

Por lo anteriormente descrito, se propuso el desarrollo de un prototipo electrónico que sea capaz de recolectar datos sobre un dispositivo conectado a la red eléctrica, para medir parámetros tales como consumo eléctrico y temperatura, estos datos recolectados son enviados a una plataforma en la nube para posteriormente el usuario pueda visualizarlos en una aplicación web y en dado caso de que se presente anomalías en algún dispositivo, el prototipo puede cortar la energía que recibe el dispositivo, esto con la finalidad de evitar algún incidente de origen eléctrico como un incendio por corto circuito. Al evitar incidentes de este tipo se está protegiendo a los usuarios que hacen uso de los dispositivos, así como también de la infraestructura, ya que se pueden prevenir pérdidas desde un equipo electrónico, como hasta la vida de un usuario, por ello es fundamental implementar un producto como el generado en este proyecto los hogares.

Metodología

Para establecer las actividades que se realizaron para el desarrollo de este proyecto, se hizo uso de la metodología PPDIOO, esta metodología se completa de seis fases: Preparar, Planificar, Diseñar, Implementar, Operar y Optimizar. Cada una de estas fases cumple con actividades y requisitos específicos dentro del ciclo de vida del proyecto [4]. La metodología PPDIOO nos proporciona cuatro ventajas respecto a metodologías similares.

- Baja el costo total de propiedad por validación de requerimientos de tecnología y planeamiento para cambios de infraestructura y requerimientos de recursos.
- Incrementa la disponibilidad de la red por la producción de un sólido diseño de red y validaciones en las operaciones.
- Mejora la agilidad de negocios estableciendo requerimientos y estrategias tecnológicas.
- Velocidad de acceso para aplicaciones y servicios, mejorando disponibilidad, fiabilidad, seguridad, escalabilidad y performance.

Fase I. Preparar

En esta fase se realizó una visualización muy detallada de la idea general del proyecto, con fin de establecer los requisitos que serían necesarios para el desarrollo del proyecto, así como percatarse si el proyecto era viable o no. Dentro de esta fase se realizaron algunas modificaciones a la idea general del proyecto para crear el formato de propuesta del proyecto, dentro de este formato se establece el por qué se llevó a cabo este proyecto, las tecnologías que se utilizaron, presupuesto inicial y los beneficios que se obtendrían al final del proyecto.

Fase II. Planificar

Dentro de la segunda fase de la metodología PPDIOO, se llevó a cabo un análisis con la finalidad de identificar cada uno de los requerimientos para el desarrollo del sistema IoT, así mismo se desarrolló un plan de trabajo para gestionar cada una de las actividades del proyecto, asignación de roles y responsabilidades, verificación de actividades y de recursos para el diseño e implementación del proyecto.

El objetivo principal propuesto para esta fase, fue comprender a fondo la estructura que tendría el proyecto para su óptimo funcionamiento, para ello se tomó en cuenta el diseño que tendría el circuito electrónico, los componentes que se integrarían en la placa PCB, ubicación de los sensores, protocolos de comunicación, direccionamiento, comparativa de costos de proveedores de VPCs, y análisis entre distintas plataformas IoT. Entre los documentos que se desarrollaron en esta fase, se encuentra el documento de

especificación de requisitos (SR), en este documento se definieron cada uno de los requerimientos del proyecto, dispositivos que se usaron, así como las características de los mismos.

En esta segunda fase, se desarrolló una bitácora para el control de actividades, este documento permitió gestionar cronológicamente cada una de las actividades que se llevaron a cabo durante las seis fases de la metodología PPDIIOO, en este documento se detallan las actividades que se realizaron, así como el responsable que la llevó a cabo.

Fase III. Diseñar

En la tercera fase se llevó a cabo el diseño de la estructura del sistema IoT, este diseño comprende los requisitos físicos y lógicos para llevar a cabo su funcionamiento.

El objetivo planteado en esta tercera etapa, fue describir gráficamente y detalladamente el diseño para el funcionamiento del sistema, incluyendo la parte lógica, es decir, los protocolos que se usaron, y la parte física, que incluye los dispositivos para el funcionamiento del sistema, todo esto basado en un sistema jerárquico de 3 capas (núcleo, distribución y acceso).

En la figura 1, se observa el diseño físico y lógico del sistema, se muestran los dispositivos que lo compondrá, así como la ubicación de cada uno de ellos, también se muestra las direcciones y protocolos que se usaron.

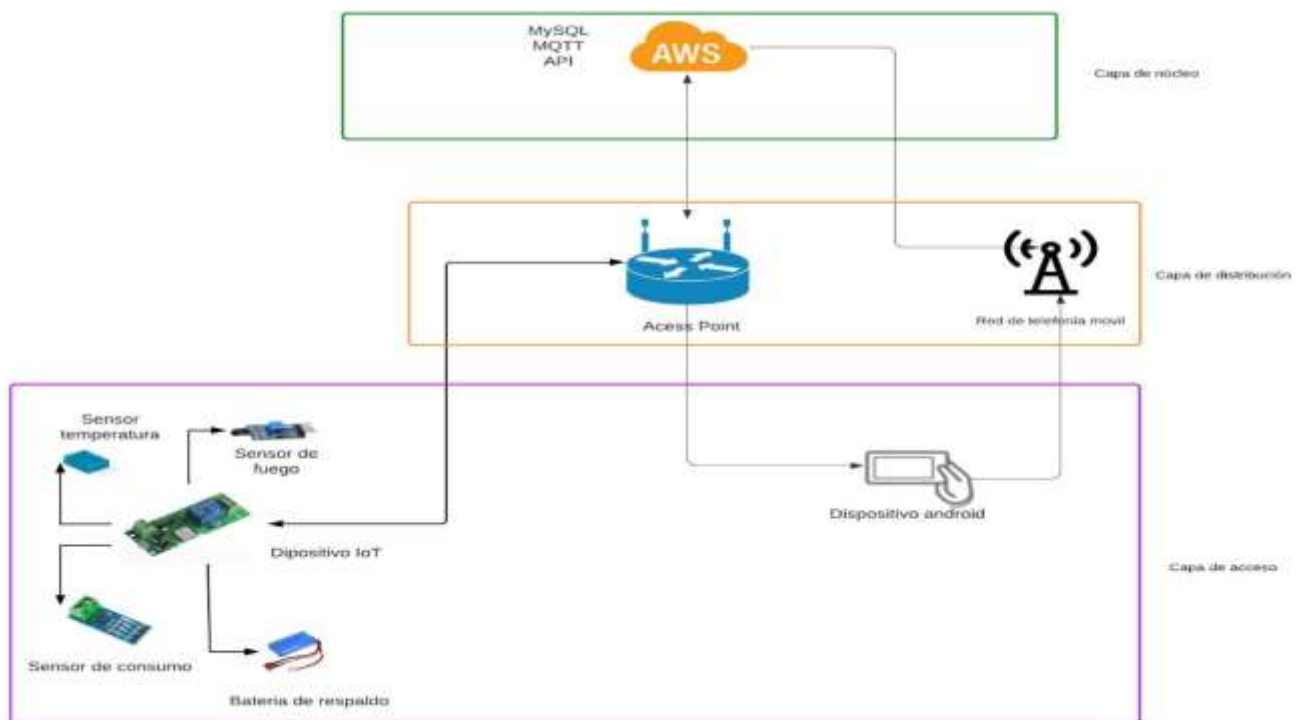


Figura 1. Diagrama LLD

Dentro de esta fase, también se desarrolló una matriz de riesgos, este documento permitió tener un control sobre las amenazas que pudieron afectar el desarrollo del proyecto. En este documento se detalló cada uno de los riesgos, sus soluciones y el nivel de riesgo representado por colores, en verde para un nivel riesgo bajo, amarillo para un nivel de riesgo medio y rojo para un riesgo alto.



Figura 2. Matriz de riesgos.

En esta fase, se crearon los mockups del diseño de la plataforma IoT, un mockup es básicamente una representación del prototipo que se quiere desarrollar [5]. En este caso se trata del diseño que tendrá la plataforma web, dentro de este dashboard se puede visualizar en tiempo real los datos que envían los sensores, así como el control de los relevadores de la placa PCB.

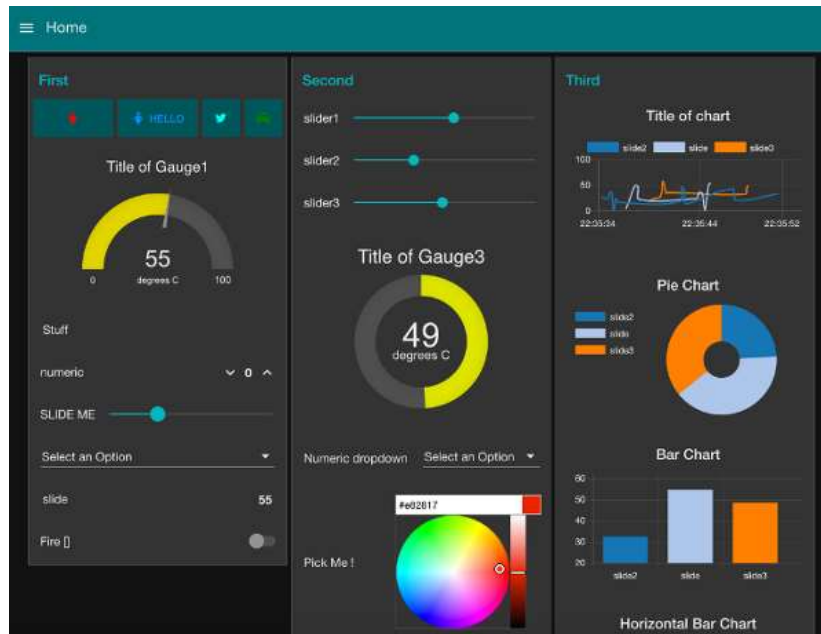


Figura 3. Mockups

Finalmente, en la fase de diseño también se creó el circuito electrónico y posteriormente la placa PCB, para desarrollar estos entregables se utilizaron herramientas de software enfocadas a la creación de circuitos electrónicos, aquí se incluyeron fusibles, reguladores de voltaje, sensor de corriente, sensor de flama y el microcontrolador wemos d1 mini.

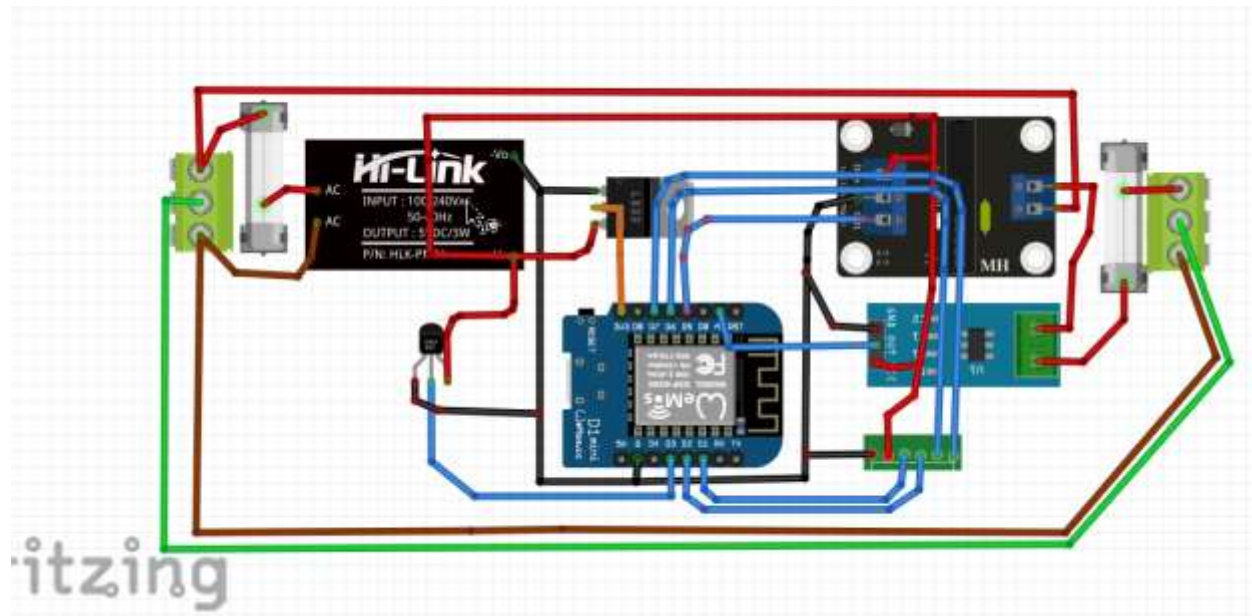


Figura 4. Prototipo electrónico.

Fase IV. Implementar

En esta fase se llevó a acabo la implementación del sistema IoT, inició con la creación de la placa PCB, para posteriormente colocar y soldar los componentes electrónicos y finalmente se programó usando el lenguaje de programación C++.

Para la parte de comunicación, se configuró un servidor con el protocolo MQTT, el cual es un protocolo de mensajería estándar para el Internet de las cosas [6], para ello se arrendó una VPC en Amazon Web Services, con el sistema operativo Debian 11.

En la misma VPC, se configuró la plataforma IoT Node-Red, Node-Red es una herramienta de programación para conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea [7], en esta plataforma se configuró un dashboard que permite la visualización de los mensajes enviados por los sensores de la placa PCB en tiempo real, así mismo se implementó un sistema de base de datos para almacenar esos datos.

Fase V. Operar.

Esta es una fase muy importante dentro de la metodología PPDIOO, ya que en esta fase se examinó el desempeño y el estado de todo el sistema, en esta fase se verificó el funcionamiento de la placa PCB incluyendo sus componentes y el calor interno que se generaba, monitorización del uso de recursos del servidor.

El objetivo que se planteos en esta fase fue validar el correcto funcionamiento del sistema IoT, para ello se probó cada uno de los elementos que los componen, se probó la placa que se encarga de la recolección de datos, el desempeño que tuvo el servidor una vez estado en funcionamiento, finalmente se probó el funcionamiento del dashboard incluyendo los tiempos de envío de alertas y el tiempo de envío de instrucciones a la placa PCB.

Fase VI. Optimizar.

En esta fase se incluyeron algunos cambios que mejoraron la gestión y el desempeño del sistema, en esta fase se contempla la identificación de problemas posteriores a la instalación del sistema, así como su resolución previa a que estos problemas lleguen a afectar el funcionamiento del sistema.

Dentro de esta fase se requiere:

- Mejorar el desempeño del sistema lo máximo posible.
- Realizar evaluaciones periódicas del sistema creando reportes detallados y su plan de mejora.

Después de realizar la fase de optimización dentro del sistema IoT, se tomó la decisión de realizar algunos cambios que mejoraron significativamente el desempeño del sistema entre ellos se optó por cambiar el tipo de relevador usado en la placa PCB ya que en un inicio se usaba un relevador de tipo mecánico, no obstante presentaba algunas deficiencias en su desempeño al momento de abrir o cerrar el circuito, es por esto que se decidió utilizar relevadores de tipo sólido, el segundo cambio que se realizó fueron los recursos de hardware con los que contaba el servidor, puesto que no eran suficientes al momento de administrarlo, por consecuente se migraron los servicios a una nueva VPC con mejores recursos de hardware.

Resultados.

Una vez concluido el proyecto podemos mencionar que las configuraciones e infraestructura de cada componente integran todo el sistema, puesto que cada una de estas configuraciones realizan funciones específicas y que, en conjunto, se logró el correcto funcionamiento del sistema.

La primera evidencia que se puede mostrar como resultado es la creación de la placa de circuito impreso, este es uno de los componentes mas importantes dentro del proyecto, esta placa funge como recolector de datos y es la base principal del sistema, en la figura 5, se observan los componentes electrónicos soldados a la placa, así como las líneas de conexión que los alimentan.

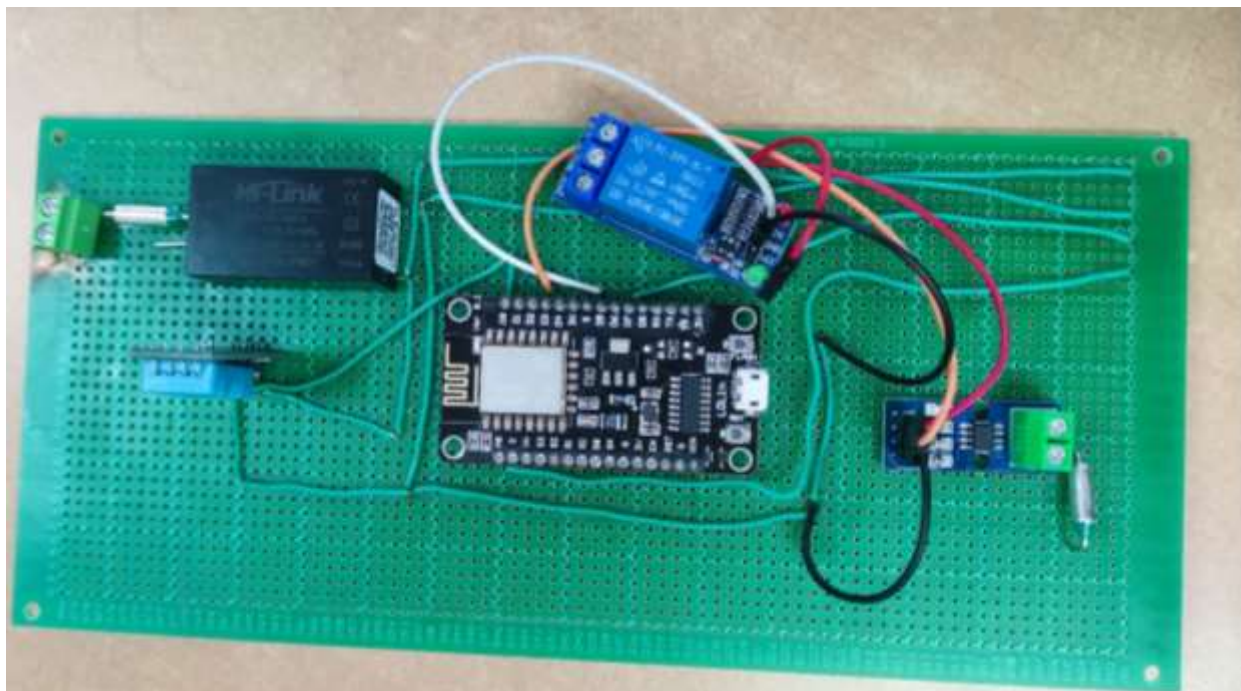


Figura 5. Circuito soldado.

Otro resultado importante, es la configuración del servidor de mensajes basado en el protocolo MQTT, puesto que este protocolo es el responsable de enviar y recibir los datos que provienen de los sensores y de la plataforma IoT, esta configuración es la interconexión directa entre los sensores de la placa de circuito impreso y la VPC. En la figura 6, se observa la configuración del servidor MQTT usando HiveMQ.

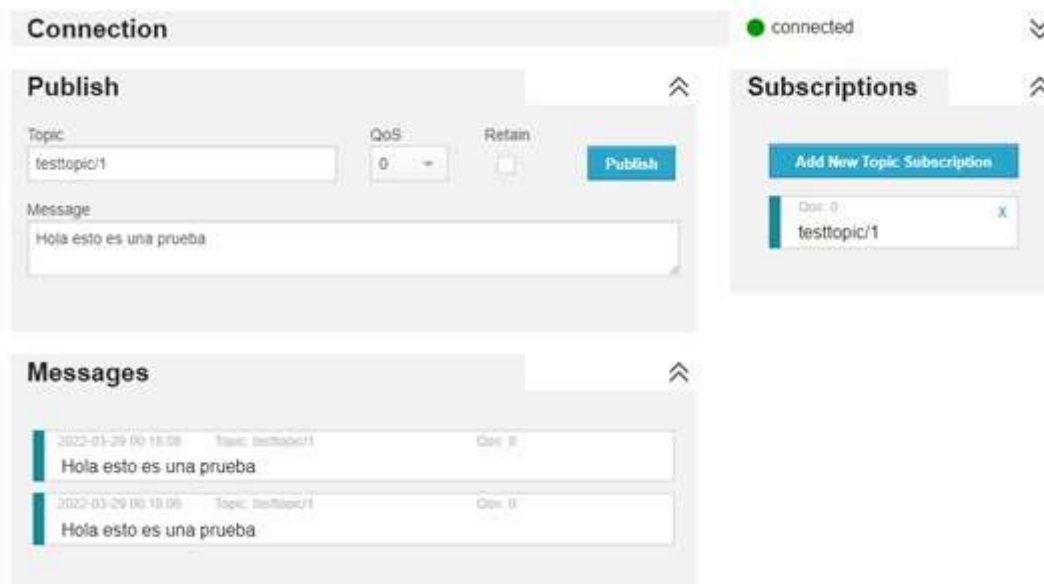


Figura 6. Servidor MQTT.

Finalmente, otro resultado muy significativo, fue que se configuró la plataforma Node red dentro de la VPC, de acuerdo a como se muestra en la figura 7 esta plataforma es muy importante para los usuarios que hacen uso del sistema IoT, ya que dentro de esta plataforma se implementó un panel (dashboard) como se muestra en la figura 8, que permite a los usuarios la visualización el tiempo real de los datos recolectados por los sensores instalados en la placa PCB.

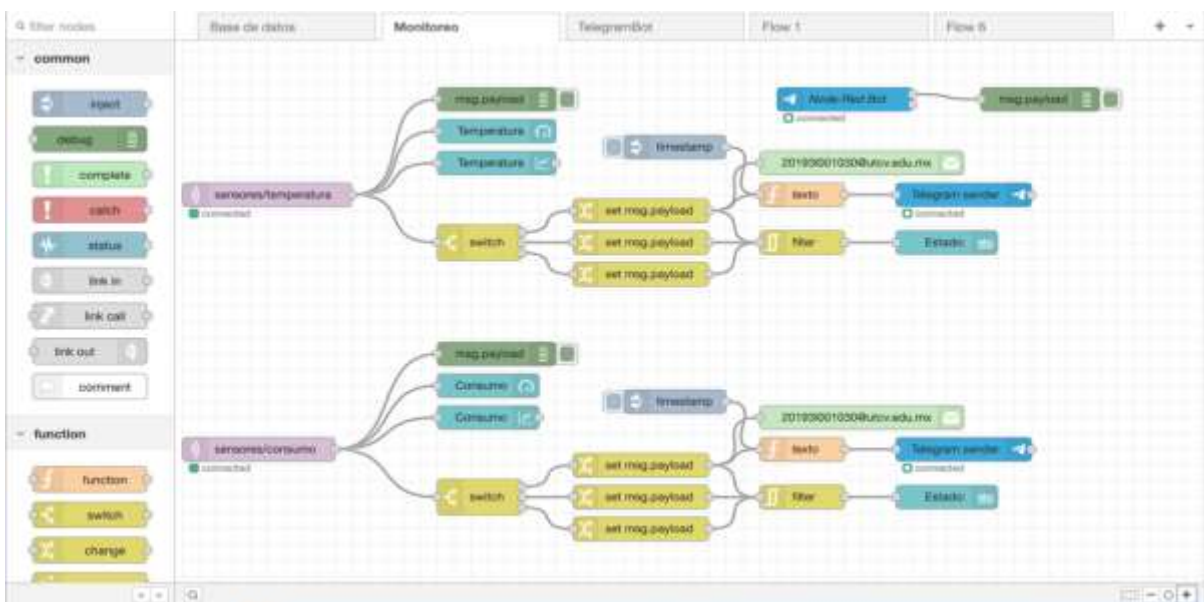


Figura 7. Configuración en Node Red del monitoreo de los componentes del sistema.



Figura 8. Representación grafica de los datos de los sensores en el dashboard.

Trabajos a futuro.

Una vez terminada la implementación, evaluaciones y pruebas del sistema, se tomaron en cuenta algunas modificaciones en el sistema que ayudaran a que este tenga un mejor desempeño al actual, uno de los cambios a futuro es la implementación de una pequeña batería que sirva de reserva en caso de un corte en el servicio eléctrico. El segundo trabajo a futuro de este proyecto, es la implementación de un Bot para la plataforma telegram y controlar desde ahí la placa con los sensores. Finalmente, el tercer trabajo a futuro que se recomienda es la implementación de otros sensores, esto a su vez hará que el impacto que tiene actualmente el sistema, sea mayor.

Conclusiones.

Como equipo de trabajo podemos decir que los objetivos que se plantearon al inicio de este proyecto, fueron completados en su totalidad y satisfactoriamente, porque se obtuvieron los entregables planeados de manera funcional, se tienen las posibilidades de hacer crecer este proyecto en una siguiente etapa, donde se extiendan los componentes a una infraestructura que tenga cobertura de una casa o una empresa considerando la totalidad de los tomacorrientes y cajas de electricidad. Podemos considerar que uno de los aprendizajes que valoramos de manera significativa es que se haya logrado la implementación de tecnologías vanguardistas al proyecto.

Referencias.

- [1] Consejo Nacional de Protección Contra Incendio, «CONAPCI,» 2019. [En línea]. Available: <https://conapci.org/incendios-urbanos-en-mexico/>. [Último acceso: 25 Julio 2022].
- [2] M. Gomez, «Geeksterra,» 6 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.geeksterra.com/educacion/41-de-los-incendios-en-casa-son-por-cortocircuito/>. [Último acceso: 25 Julio 2022].
- [3] A. Rocha, «Conmantenimiento,» 7 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://conmantenimiento.com.mx/tag/cortocircuitos/>. [Último acceso: 25 Julio 2022].
- [4] Cisco, «Cisco Press,» 15 Julio 2010. [En línea]. Available: <https://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=1608131&seqNum=3#:~:text=PPDIOO%20stands%20for%20Prepare%2C%20Plan,services%20required%20for%20a%20network..> [Último acceso: 25 Julio 2022].
- [5] N. Prida, «OpenWebinars,» 28 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://openwebinars.net/blog/ques-un-mockup-o-maqueta-web/#:~:text=Un%20mockup%20es%20la%20representaci%C3%B3n,p%C3%A1gina%20web%20o%20nuestra%20maqueta..> [Último acceso: 27 Julio 2022].
- [6] MQTT, 2022. [En línea]. Available: <https://mqtt.org/>. [Último acceso: 27 Julio 2022].
- [7] OpenJS Foundation and Node-RED, «Node-RED,» 14 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://nodered.org/>. [Último acceso: 08 Agosto 2022].

Estimación de profundidad utilizando visión monocular, para un sistema de realidad aumentada

Saúl Martínez-Díaz^{1*}, Daniel A. Contreras-Suárez¹, Israel M. Santillán Méndez¹, Iliana Castro Liera¹

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Paz saul.md@lapaz.tecnm.mx,
M19310014@lapaz.tecnm.mx, israel.sm@lapaz.tecnm.mx, iliana.cl@lapaz.tecnm.mx

Área de participación: *Sistemas Computacionales*

Resumen

La realidad aumentada es una tecnología en crecimiento con muchas posibles aplicaciones en educación, medicina, entretenimiento y turismo, entre otras. Básicamente, lo que busca esta tecnología es combinar información del mundo real con información virtual, sin que el usuario perciba la diferencia entre ambas. Para lograrlo, el sistema de realidad aumentada debe ser capaz de dimensionar el mundo real, para generar mapas digitales. Para llevar a cabo dicho dimensionamiento, una buena alternativa es utilizar un sistema de visión artificial que proporcione un buen compromiso entre costo y desempeño. En este trabajo se presenta un método para calcular la distancia de la cámara a un objeto de referencia en el mundo real, utilizando un sistema de visión monocular. Cuando el cálculo no es posible, se utiliza un método de estimación de posición, basado en fotogramas.

Palabras clave: *Visión monocular, realidad aumentada, odometría visual*

Abstract

Augmented reality is a growing technology with many potential applications in education, medicine, entertainment, and tourism, among others. Basically, what this technology seeks is to combine information obtained from real world with virtual information, without the user perceiving the difference between the two. To achieve this, the augmented reality system must be able to dimension the real world, to generate digital maps. To carry out this dimensioning, a good alternative is to use an artificial vision system that provides a good compromise between cost and performance. In this work, a method is presented to calculate the distance from the camera to a reference object in the real world, using a monocular vision system. When computation is not possible, a frame-based position estimation method is used.

Key words: *Monocular vision, augmented reality, visual odometry*

Introducción

El término Realidad Aumentada (AR, por sus siglas en inglés) se refiere a una variedad de tecnologías de visualización, capaces de combinar la visión del mundo real que tiene un usuario con información alfanumérica, simbólica o gráfica. Mientras que la realidad virtual coloca al usuario dentro de un ambiente completamente generado en computadora, la AR se centra en presentar información del mundo físico y la generada por la computadora, de modo que ambas aparenten ser parte del mismo mundo físico. De este modo, la AR combina lo físico con lo virtual en tiempo real, manteniendo un registro en tres dimensiones (3D). Una parte fundamental de un sistema de AR es la generación de mapas digitales del entorno físico del usuario. Para ello, es necesario que el sistema sea capaz de dimensionar los objetos del mundo real, para emparejarlos con los objetos virtuales.

Por otro lado, en los últimos años, debido al aumento de la capacidad de procesamiento de las computadoras, ha sido posible procesar imágenes digitales en tiempo real. Con esta mejora tecnológica, creció el interés de la comunidad científica por desarrollar sistemas de estimación de distancia, posición y ubicación de los objetos en el mundo real, basados en sistemas de visión artificial. Una de las razones es porque hay muchas aplicaciones en las que se puede utilizar esta tecnología. Estas aplicaciones incluyen la navegación de robots autónomos [1,2], localización y mapeo simultáneos (SLAM, por sus siglas en inglés) en lugares desconocidos [3,4] y realidad aumentada [5], entre otras.

Los sistemas de geoposicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) normalmente se utilizan para determinar la ubicación de objetos en el mundo real; sin embargo, esta tecnología es susceptible a interferencias, especialmente en lugares rodeados de edificios, debajo de puentes o en interiores. Además, tienen grandes márgenes de error, de hasta varios decímetros, en el mejor caso. Por otro lado, también se pueden utilizar cámaras RGBD; sin embargo, además de su alto costo, utilizan sensores infrarrojos para determinar la profundidad en una escena tridimensional. Esto dificulta e incluso impide su aplicación en algunos lugares iluminados con luz natural. Por otro lado, los sistemas de visión ofrecen algunas ventajas sobre las tecnologías dominantes actualmente utilizadas, a bajo costo.

Un sistema de visión puede utilizar una sola cámara (denominado sistema monocular) o más de una cámara (generalmente dos, denominado sistema estereoscópico). En los sistemas estereoscópicos normalmente es necesario realizar una calibración entre las cámaras para conocer la rotación y traslación de una con respecto a la otra. Generalmente, el sistema de coordenadas de una de las cámaras se utiliza como sistema de referencia. Los parámetros de calibración estéreo deben mantenerse fijos durante todo el proceso de estimación de distancia, para obtener buenos resultados. Para calcular la ubicación de un punto en el espacio tridimensional, cada cámara debe capturar una imagen que contenga ese punto; luego, es necesario hacer coincidir los puntos correspondientes e identificar sus coordenadas 2D dentro de las dos imágenes; Finalmente, utilizando los parámetros obtenidos en la calibración, se realiza una triangulación para obtener sus coordenadas 3D. Sin embargo, existen algunas desventajas prácticas en este tipo de sistemas basados en dos (o más) cámaras. Algunos de estos problemas son:

- la diferencia en la respuesta al color de cada cámara y la luminancia de la señal de entrada dificulta el emparejamiento de los puntos correspondientes;
- estos sistemas requieren más espacio físico, consumen más energía y el costo computacional es mayor porque necesitan procesar dos imágenes en cada ocasión;
- es posible que las cámaras pierdan la calibración estereoscópica debido a movimientos o vibraciones.
- cuando se observan puntos distantes con dos cámaras, el sistema degenera y tiende a comportarse como un sistema monocular.

Todo lo anterior sitúa a los sistemas monoculares como una buena alternativa. Además, los sistemas de visión monocular se pueden diseñar con hardware de bajo costo y se pueden utilizar en aplicaciones de interiores y exteriores, con bajas tasas de error.

En el presente trabajo se propone una técnica para calcular la distancia de una cámara calibrada a un conjunto de puntos de referencia, en el espacio tridimensional, para aplicaciones de realidad aumentada. Este método de cálculo de distancia es menos restrictivo que otros métodos propuestos en la literatura. Para ello, se requieren al menos tres puntos de un objeto de referencia. Solo se debe conocer la distancia entre cada par de puntos de referencia. Los puntos pueden estar en cualquier posición y no se requiere que la cámara esté perpendicular al plano formado por los tres puntos. Usando esta técnica en imágenes consecutivas que contienen el objeto de referencia, es posible calcular la pose (rotación y traslación) de la cámara cada vez, requiriendo solo la detección de dicho objeto. En caso de no encontrarse el objeto en una imagen, se estima la ubicación utilizando un algoritmo basado en fotogramas. El error acumulado de dicha estimación puede corregirse cada vez que se vuelve a encontrar el objeto de referencia. Las simulaciones por computadora muestran un buen desempeño del método propuesto.

Estado del arte

En los sistemas monoculares, dado que se utiliza una sola cámara, es necesario mover la misma cámara y capturar imágenes en diferentes posiciones. Debido a que este movimiento es desconocido, cada nueva pose relativa debe estimarse tomando como referencia los puntos capturados previamente de la escena tridimensional. En la literatura, dos enfoques han demostrado ser exitosos para la estimación de pose con sistemas monoculares: métodos de filtrado [6,7] y métodos basados en fotogramas [8,9]. Sin embargo, Strasdat y colaboradores [10] mostraron que las técnicas basadas en fotogramas son más precisas que el filtrado, por el mismo costo computacional.

Mur-Artal y Tardós [3], propusieron un algoritmo SLAM monocular que explota las restricciones de rigidez de los objetos para encontrar su escala real, junto con un algoritmo de reconocimiento de objetos basado en bolsas de palabras binarias. Usaron un descriptor binario basado en las funciones FAST Orientado y BRIEF Rotado (ORB, por sus siglas en inglés). Una vez que se observa un objeto en varias posiciones de la cámara, las características de la escena obtenidas de imágenes consecutivas se triangulan, lo que permite una estimación de la localización de los objetos en tres dimensiones. Además, Siddiqui y colaboradores [11] propusieron una máquina de soporte vectorial (SVM, por sus siglas en inglés) combinada con una bolsa de palabras binarias y un descriptor de

Características Robustas Aceleradas (SURF, por sus siglas en inglés), para la etapa de reconocimiento. Sin embargo, los dos últimos enfoques requieren una gran cantidad de memoria para mantener mapas de las ubicaciones previas y el diccionario para las bolsas de palabras binarias; desafortunadamente, la memoria y otros recursos de hardware están limitados en muchos sistemas de AR.

Otro problema importante en los sistemas monoculares es que la ubicación de un punto en el espacio 3D solo puede conocerse hasta cierto factor de escala. Este factor de escala debe obtenerse utilizando algún método de ajuste inicial. En la literatura, se han propuesto varios enfoques para estimar este factor de escala: Tarrío y Pedre [12] utilizaron una cámara como sensor principal y una unidad de medida inercial (IMU) para determinar la escala. Yin y colaboradores [13] estimaron la profundidad utilizando una red neuronal convolucional, esta estimación se refina y el error se reduce entrenando la red con las imágenes consecutivas. Yao y colaboradores [14] supusieron que el campo de visión de una cámara montada en un dirigible es siempre perpendicular a la tierra; a continuación, la cámara se coloca a una distancia conocida de la cara de una persona (centrada en la imagen). Luego, se cuentan los píxeles de la cara detectada; finalmente, con estos datos se establece una relación para calcular la profundidad al detectar el mismo rostro en futuras imágenes, desde diferentes distancias de la cámara.

Metodología

En esta sección se presenta la metodología y los conceptos teóricos necesarios para la implementación del sistema propuesto. Primero se presenta el modelo de cámara y el método de calibración utilizados; después se explica el funcionamiento general del sistema y se mencionan los algoritmos utilizados para su implementación; finalmente se introduce el método propuesto para el cálculo de distancia.

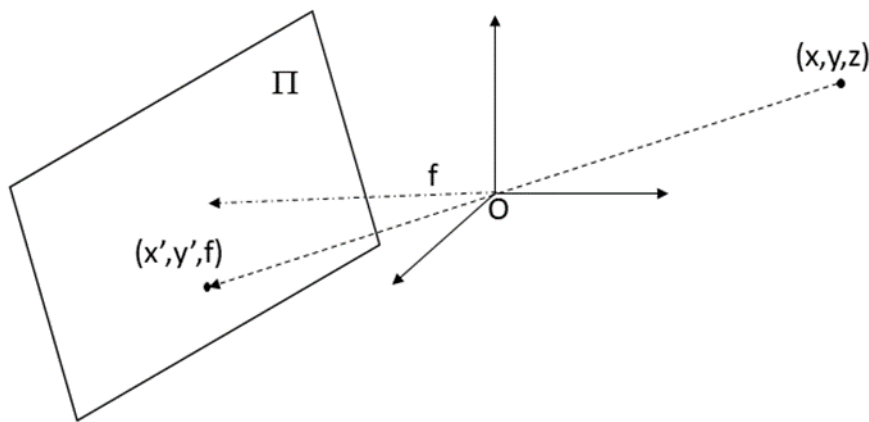


Figura 1. Modelo de cámara "ojo de aguja" (fuente: elaboración propia)

Modelo de cámara utilizado

Debido a su simplicidad, el modelo ojo de aguja es ampliamente utilizado para representar la formación de imágenes en una cámara. En este modelo se supone que un solo rayo de luz ingresa a la cámara y se proyecta en un plano de imagen (plano proyectivo). La figura 1 ilustra el principio en el que se basa dicho modelo. Como puede verse, cada punto P con coordenadas (x, y, z) en el espacio 3D se proyecta a través del ojo de aguja (que se toma como origen del sistema de coordenadas) al punto P' con coordenadas (x', y', f) del plano Π en la cámara. Donde f es la distancia focal de la cámara. De la figura 1, por semejanza de triángulos, se puede establecer que [15]:

$$\frac{x'}{x} = \frac{y'}{y} = \frac{f}{z} = \lambda, \quad (1)$$

En este caso, λ es un factor de escala. Si se conocen la distancia focal y el factor de escala, es posible calcular las coordenadas del punto P en 3D, a partir de las coordenadas 2D del punto proyectado en el plano de la imagen. Por lo general, la distancia focal junto con los parámetros intrínsecos y extrínsecos se pueden obtener en el proceso de calibración de la cámara.

Método de calibración de la cámara

La calibración de la cámara brinda un modelo de su geometría. Esta información se puede utilizar para definir sus parámetros intrínsecos y extrínsecos. Sea P' la proyección en el plano de la cámara del punto tridimensional P . Utilizando coordenadas homogéneas se definen $P = [X \ Y \ Z \ 1]^T$ y $P' = [x \ y \ 1]^T$. En notación matricial, se puede expresar el mapeo de P a P' como:

$$\lambda P' = A[R \ t]P \quad (2)$$

Donde $[R \ t]$ es una matriz de parámetros extrínsecos (rotación y traslación) y A es la matriz de parámetros intrínsecos, definida por:

$$A = \begin{bmatrix} f_x & s & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Aquí, f_x , f_y brindan información (dependiendo del tamaño del píxel) de la distancia focal en la dirección de x e y , respectivamente; c_x y c_y son las coordenadas del punto principal de la imagen; s se conoce como sesgo y representa el ángulo de inclinación del píxel.



Figura 2. Patrón de calibración

Zhang [16] propuso una técnica de calibración basada en la observación, desde varias posiciones, de un patrón plano, tipo tablero de ajedrez (figura 2). La ventaja de este método de calibración es que permite obtener fácilmente los parámetros de la cámara a partir del sistema de referencia, resolviendo un sistema de ecuaciones, sin necesidad de conocer la posición de los puntos de referencia ni de la cámara.

Descripción general del sistema

La figura 3 muestra el funcionamiento general del método propuesto. El sistema captura cada imagen y busca el objeto de referencia. La detección de objetos de referencia se basa en la detección de esquinas. Las esquinas son invariantes a la traslación, rotación e iluminación y existen algoritmos robustos para detectarlas. La idea principal para la detección de esquinas es buscar derivados fuertes en dos direcciones ortogonales de la imagen.

En este trabajo se utilizó el método propuesto por Harris [17]. En caso de encontrarse el objeto, se calcula su distancia con el método descrito en la siguiente sección; de no ser así, se estima la distancia con un algoritmo basado en fotogramas. El algoritmo básico basado en fotogramas utilizado es:

- Extraer características de interés de cada imagen utilizando el algoritmo SURF [18]
- Emparejar características entre imágenes consecutivas
- Triangular entre los puntos coincidentes aplicando los parámetros de calibración y estimar la distancia
- Optimizar estimación con algoritmo de ajuste de paquete [19]

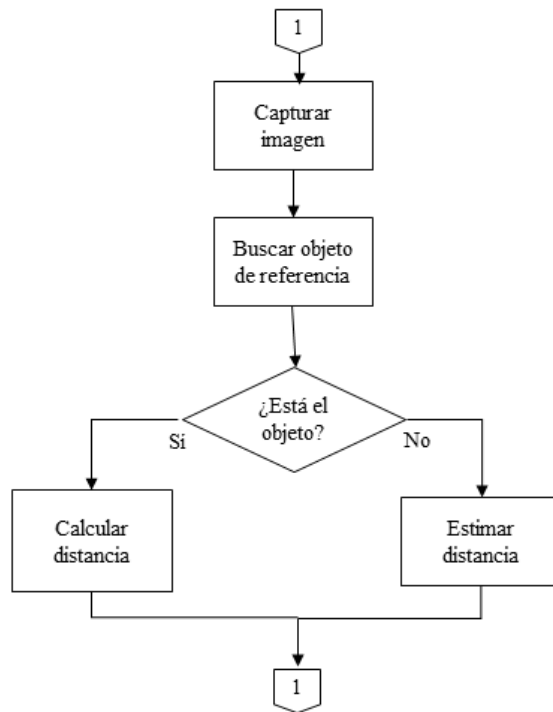


Figura 3. Método propuesto

Cálculo de distancia propuesto

De la ecuación (1) se pueden obtener las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned}x &= \frac{x'}{f} z, \\y &= \frac{y'}{f} z.\end{aligned}\tag{4}$$

Ahora, supongamos que tenemos al menos tres puntos P_1, P_2, P_3 en el espacio 3D con coordenadas (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) y (x_3, y_3, z_3) , respectivamente. Supongamos también que se conocen las distancias d_1, d_2 y d_3 entre cada par de puntos. Usando las relaciones en (4), la distancia euclidiana cuadrática entre cada par de puntos se puede calcular mediante:

$$\begin{aligned}d_1 &= \left(\frac{x'_{11}}{f}z_1 - \frac{x'_{12}}{f}z_2\right)^2 + \left(\frac{y'_{11}}{f}z_1 - \frac{y'_{12}}{f}z_2\right)^2 + (z_1 - z_2)^2, \\d_2 &= \left(\frac{x'_{11}}{f}z_1 - \frac{x'_{13}}{f}z_3\right)^2 + \left(\frac{y'_{11}}{f}z_1 - \frac{y'_{13}}{f}z_3\right)^2 + (z_1 - z_3)^2, \\d_3 &= \left(\frac{x'_{13}}{f}z_3 - \frac{x'_{12}}{f}z_2\right)^2 + \left(\frac{y'_{13}}{f}z_3 - \frac{y'_{12}}{f}z_2\right)^2 + (z_3 - z_2)^2.\end{aligned}\tag{5}$$

El sistema de ecuaciones no lineales (5) se puede resolver numéricamente para las z_i , que representan la profundidad a la que se encuentra cada punto con respecto a la cámara. Sustituyendo estos resultados en la ecuación (4) también podemos obtener las coordenadas del mundo real (x_i, y_i, z_i) de los tres puntos. Con dichas coordenadas es posible calcular la distancia Euclidiana de la cámara a cada uno de esos puntos, en el espacio tridimensional. Además, si se toman dos imágenes consecutivas con la misma cámara en diferentes posiciones, aplicando el método propuesto, es posible estimar el desplazamiento relativo (rotación y traslación) entre ambas posiciones.

Resultados y discusión

Configuración inicial

En esta sección, por medio de simulaciones por computadora, se ilustra el rendimiento del método de cálculo de profundidad propuesto y la estimación basada en fotogramas.

El cálculo de distancia se probó utilizando nuestras propias imágenes adquiridas con una cámara web de bajo costo. Los resultados se compararon con un dispositivo Kinect. Kinect es un sistema RGBD que provee las coordenadas 3D de puntos del mundo real. Contiene una cámara de luz visible con una resolución de 1920x1080x3 y un sistema de luz infrarroja para proporcionar información de profundidad. Para probar el algoritmo de cálculo de distancia se utilizó un conjunto de 100 imágenes que contienen el patrón de calibración que se muestra en la figura 3; cada cuadrado mide 27x27 milímetros de largo. Las imágenes RGB se adquirieron con una cámara web Microsoft USB de bajo costo a una resolución de 640x480x3 píxeles. La fuente de iluminación proporcionaba luz no homogénea procedente de un conjunto de lámparas de corriente alterna.

Para probar la estimación de distancia del sistema basada en fotogramas se utilizaron 600 imágenes de la secuencia 00 del conjunto de datos KITTI [20]. Este conjunto de datos contiene imágenes adquiridas con cámaras en escala de grises PointGray Flea2. Cada imagen en escala de grises tiene una resolución de 376x1241 píxeles. El conjunto de datos incluye referencias reales obtenidas con un sistema de navegación inercial GPS/IMU de alta precisión. La figura 5 es un ejemplo de imágenes usadas, que se adquirieron en un entorno residencial.

Tabla 1. Comparación de distancias obtenidas con Kinect y el método propuesto.

Distancia Kinect (cm)	Distancia estimada (cm)
9.04	11.59
20.78	24.62
25.67	29.13
30.43	33.32
45.04	47.50
43.92	49.88
46.49	48.68
47.06	49.30
43.73	44.12
44.72	41.16

Cálculo de distancia

En esta etapa, primero se colocó la cámara a diferentes distancias del patrón. Después, se calculó la distancia con el algoritmo propuesto y se comparó con las lecturas obtenidas del sensor Kinect. La tabla 1 muestra algunos valores obtenidos con Kinect y el método propuesto. La figura (4) muestra la gráfica comparativa con todos los resultados obtenidos. De los datos recolectados, se obtiene una correlación del 98,4163 % entre las distancias de Kinect y las medidas con nuestro método, con un 9 % de error porcentual promedio. Estos resultados son muy buenos si se considera que no habrá error acumulado mientras se detecte el objeto de referencia.

Estimación de distancia basada en fotogramas

Debido a que el algoritmo basado en fotogramas requiere un ajuste inicial de la escala, dicho ajuste se realizó utilizando las dos primeras filas del archivo de referencia (ground-truth) proporcionado con el conjunto de datos. De cada imagen detectaron y emparejaron las características de SURF. Posteriormente, se llevó a cabo la triangulación y la estimación de distancias. Estos últimos resultados se compararon con el archivo de referencia incluido en el conjunto de datos. La Figura (6) muestra los resultados de la comparación entre datos reales y estimados. Se obtuvo una correlación de 0.9996 entre ambas gráficas con un 5.88% de error porcentual promedio. Estos resultados son comparables con los obtenidos en el estado del arte.

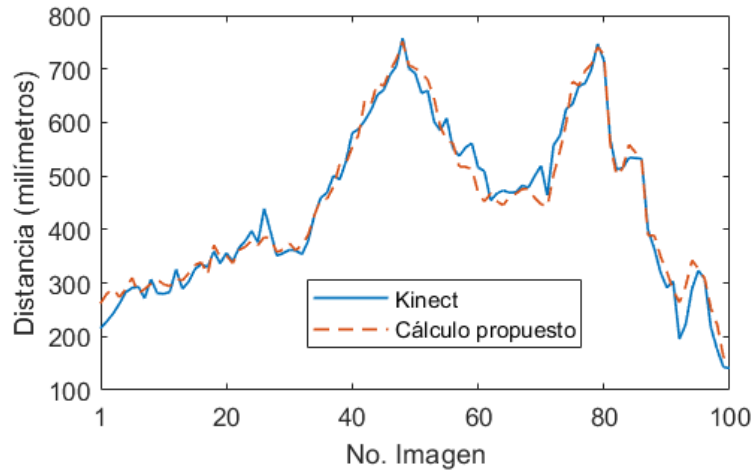


Figura 4. Comparación del cálculo de profundidad vs dispositivo Kinect



Figura 5. Ejemplo de imagen utilizada del conjunto de datos KITTI.

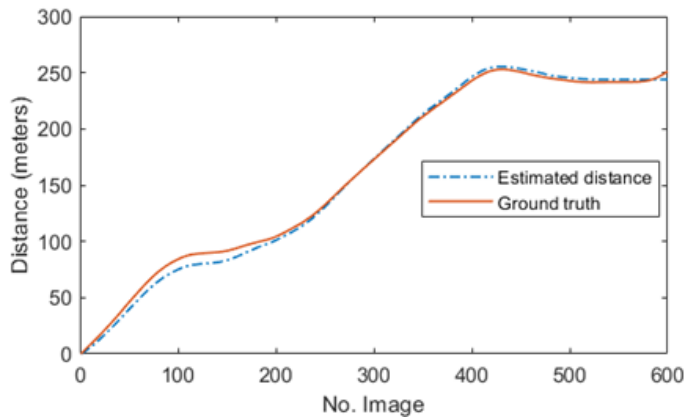


Figura 6. Comparación de estimación de distancia utilizando conjunto de datos KITTI.

Discusión

Cuando el objeto de referencia no se detecta durante mucho tiempo (más de 600 fotogramas), el error de estimación basado en fotogramas comienza a aumentar considerablemente. Dicho error debido a la deriva se puede corregir cuando se vuelve a detectar el objeto de referencia, por lo que es conveniente que no pase mucho tiempo antes de volver a detectar el objeto. Otra alternativa es utilizar varios objetos de referencia que se puedan encontrar en la escena; esto implica utilizar una técnica robusta de detección de múltiples objetos, como una red neuronal convolucional. La ventaja del método propuesto con respecto a los métodos en el estado del arte es que, una vez que se encuentra el objeto de referencia, el sistema puede recalibrarse. Esto impide que el error acumulado crezca sin control. Para aplicaciones de realidad aumentada es factible utilizar el método propuesto debido a que muchos de los objetos con los que se interactúa son de dimensiones conocidas. El método propuesto puede ser utilizado también para el seguimiento de objetos conocidos utilizando vehículos autónomos; en ese caso, el seguimiento será confiable, aunque el objeto seguido se pierda momentáneamente, por ejemplo, al pasar debajo de un puente.

Conclusiones y trabajo futuro

En este artículo se presentó un nuevo método para calcular la distancia de puntos en el espacio tridimensional con un sistema de visión monocular para aplicarse en un sistema de realidad aumentada. Sin embargo, esta información puede servir también para aplicaciones en sistemas de control industrial, SLAM o navegación de robots autónomos, utilizando una sola cámara. Los puntos se pueden obtener de cualquier objeto de referencia conocido. Para el cálculo sólo es necesario conocer la distancia entre algunos pares de puntos. Si no se detecta el objeto de referencia, la distancia se estima mediante un algoritmo basado en fotogramas.

Los resultados experimentales muestran un buen desempeño del algoritmo de cálculo de profundidad en imágenes tomadas con una cámara de bajo costo, bajo condiciones no controladas. El error máximo obtenido fue inferior al 0,25%, en comparación con una regla estándar calibrada. Además, para el cálculo de la profundidad inicial, este método es menos restrictivo que los métodos más avanzados en la literatura.

El trabajo futuro incluye el diseño de clasificadores multiclasa robustos, como redes neuronales convolucionales, para reconocer objetos comunes que se espera encontrar en el entorno. Por otro lado, se requiere el desarrollo de hardware de procesamiento paralelo especializado, como unidades de procesamiento gráfico (GPU) o matriz de puertas programables en campo (FPGA), para reducir el tiempo de algunos algoritmos como SURF, emparejamiento, estimación de pose y paquete. Además, se requiere investigación sobre algoritmos de optimización rápidos y robustos.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Tecnológico Nacional de México, proyecto número 7796.20-P.

Referencias

- [1] S. Feng, Z. Wu, Y. Zhao and P. A. Vela, "Image-Based Trajectory Tracking Through Unknown Environments Without Absolute Positioning," in *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, doi: 10.1109/TMECH.2022.3175819.
- [2] T. Alves, T. Hormigo and R. Ventura, "Vision-based Navigation Solution for Autonomous Underwater Vehicles," 2022 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC), 2022, pp. 226-231, doi: 10.1109/ICARSC55462.2022.9784778.
- [3] R. Mur-Artal and J. D. Tardós, "Visual-Inertial Monocular SLAM With Map Reuse," in *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 2, no. 2, pp. 796-803, April 2017, doi: 10.1109/LRA.2017.2653359.
- [4] H. Bavle, P. De La Puente, J. P. How and P. Campoy, "VPS-SLAM: Visual Planar Semantic SLAM for Aerial Robotic Systems," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 60704-60718, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2983121.
- [5] D. Chatzopoulos, C. Bermejo, Z. Huang and P. Hui, "Mobile Augmented Reality Survey: From Where We Are to Where We Go," in *IEEE Access*, vol. 5, pp. 6917-6950, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2698164.
- [6] J. Civera, A. J. Davison and J. M. M. Montiel, "Inverse Depth Parametrization for Monocular SLAM," in *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 24, no. 5, pp. 932-945, Oct. 2008, doi: 10.1109/TRO.2008.2003276.

- [7] J. Zhang, G. Zeng and H. Zha, "Scalable Monocular SLAM by Fusing and Connecting Line Segments with Inverse Depth Filter," 2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), 2018, pp. 2283-2288, doi: 10.1109/ICPR.2018.8546049.
- [8] R. Mur-Artal, J. M. M. Montiel and J. D. Tardós, "ORB-SLAM: A Versatile and Accurate Monocular SLAM System," in IEEE Transactions on Robotics, vol. 31, no. 5, pp. 1147-1163, Oct. 2015, doi: 10.1109/TRO.2015.2463671.
- [9] S. Leutenegger, S. Lynen, M. Bosse, R. Siegwart and P. Furgale, "Keyframe-based Visual-inertial Odometry Using Nonlinear Optimization," in Int. J. Robot. Res. Vol. 34, no. 3, pp. 314–334, 2015, doi: 10.1177/0278364914554813.
- [10] H. Strasdat, J.M.M. Montiel and A.J. Davison, "Visual SLAM: Why filter?," in Image and Vision Computing, vol. 30 no. 2, pp. 65–77, 2012, doi:10.1016/j.imavis.2012.02.009.
- [11] A. J. Siddiqui, A. Mammeri and A. Boukerche, "Real-Time Vehicle Make and Model Recognition Based on a Bag of SURF Features," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 17, no. 11, pp. 3205-3219, Nov. 2016, doi: 10.1109/TITS.2016.2545640.
- [12] J. J. Tarrío and S. Pedre, "Realtime Edge Based Visual Inertial Odometry for MAV Teleoperation in Indoor Environments," in J. Intell. Robot Syst. Vol. 90, pp. 235-252, 2018, doi:10.1007/s10846-017-0670-y
- [13] X. Yin, X. Wang, X. Du and Q. Chen, "Scale Recovery for Monocular Visual Odometry Using Depth Estimated with Deep Convolutional Neural Fields," 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017, pp. 5871-5879, doi: 10.1109/ICCV.2017.625.
- [14] N. Yao, E. Anaya, Q. Tao, S. Cho, H. Zheng and F. Zhang, "Monocular vision-based human following on miniature robotic blimp," 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2017, pp. 3244-3249, doi: 10.1109/ICRA.2017.7989369.
- [15] A. I. Barranco-Gutiérrez, S. Martínez-Díaz and J. L. Gómez-Torres, *Visión Estereoscópica con MATLAB y OPENCV*, Pearson, 2018.
- [16] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 11, pp. 1330-1334, Nov. 2000, doi: 10.1109/34.888718.
- [17] C. Harris, and M. Stephens, "A Combined Corner and Edge Detector," Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, 1988, pp. 147–151, doi: 10.5244/C.2.23.
- [18] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars and L. Van Gool, "SURF:Speeded Up Robust Features," in Computer Vision and Image Understanding vol. 110 no. 3, pp. 346–359, 2008, doi:10.1016/j.cviu.2007.09.014.
- [19] B. Triggs, P. F. McLauchlan, R.I. Hartley and A. W. Fitzgibbon, "Bundle Adjustment a Modern Synthesis," International Workshop on Vision Algorithms, 2000, vol.1883, pp. 298–372, doi: 10.1007/3-540-44480-7_21
- [20] A. Geiger, P. Lenz, C. Stiller and R. Urtasun, "Vision Meets Robotics: The KITTI Dataset," in The International Journal of Robotics, vol. 32 no. 11, pp. 1231–1237, 2013, doi: 10.1177/0278364913491297.

Una Mejora al algoritmo Búsqueda Tabú para resolver el problema Single Machine Total Weighted Tardiness

A. Mexicano Santoyo¹, J.C. Carmona Frausto^{1*}, S. Cervantes Alvarez², P.N. Montes Dorantes¹, J.A. Cervantes Alvarez²,

¹División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, Boulevard Emilio Portes Gil #1301 Pte. A.P. 175 C.P. 87010 Cd. Victoria, Tamaulipas.

²Departamento de Ciencias Computacionales e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, UdeG, Ameca, Jalisco.

*jcarmonaфраusto@gmail.com

Área de participación: Sistemas Computacionales

Resumen

La programación de tareas es una actividad primordial en toda empresa manufacturera ya que de ello depende que todos los pedidos solicitados sean entregados en tiempo y forma. No obstante, cuando no se hace uso de algoritmos especializados, dicha tarea puede resultar compleja. En este trabajo se propone un algoritmo de Búsqueda Tabú que hace uso de una regla heurística que selecciona como solución inicial la mejor solución obtenida al aplicar tres reglas de despacho diferentes: FIFO, SPT y EDD, lo cual logra reducir el espacio de búsqueda del algoritmo y encontrar soluciones cercanas a los mejores valores reportados. El algoritmo propuesto se probó con instancias sintéticas de 40, 50 y 100 tareas extraídas del repositorio OR-Library. Los resultados mostraron que la implementación de la Búsqueda Tabú que incorpora la heurística propuesta obtiene mayor número de mejores resultados que la simple combinación de la Búsqueda Tabú con otra regla de despacho.

Palabras clave: Optimización, Búsqueda Tabú, Calendarización de tareas, Tardanza total

Abstract

The scheduling is a primary activity in any manufacturing company due to depending on how the task scheduling is made, all the requested orders are delivered in a timely or not. However, when specialized algorithms are not applied, this task can be complex. In this work, a Tabu Search algorithm is proposed that makes use of a heuristic rule that selects as the initial solution, the best solution obtained by applying three different dispatching rules: FIFO, SPT, and EDD, which manages to reduce the search space of the algorithm and helps to find solutions whose values are close to the best-known values. The proposed algorithm was evaluated using synthetic instances of 40, 50, and 100 tasks, extracted from the OR-Library repository. The results showed that the implementation of Tabu Search incorporating the proposed heuristic obtains a greater number of better results than the simple combination of the Tabu Search with another dispatching rule.

Key words: Optimization, Tabu Search, Task scheduling, Total tardiness

Introducción

La planeación y programación de tareas con una máquina hoy en día es un tema de gran interés debido a la importancia que representa para la producción industrial [1]. Actualmente dada la gama de ofertas y el avance tecnológico, las empresas trabajan fuertemente para satisfacer las necesidades del cliente, por lo que la programación de tareas juega un rol importante cuando de fechas de vencimiento se trata [2]. Este problema es conocido como el problema de tardanza ponderada total de una sola máquina y considerado en la literatura especializada como NP-Hard [3], lo que significa que no existen algoritmos que obtengan la solución óptima para todas las instancias de prueba en tiempos razonables, por otra parte la generación de heurísticas que logren obtener buenas soluciones requiere de un tiempo substancial y no existe algún método definido de cómo utilizar las instancias resueltas para mejorar algoritmos. De tal forma que representa un problema desafiante para los planificadores e investigadores minimizar el tiempo de tardanza o los costos de penalización durante la

calendarización de tareas [4]. Desde el punto de vista de optimización, es bien sabido que los algoritmos exactos logran obtener soluciones óptimas cuando se trata de instancias pequeñas, no obstante requieren de alto costo computacional, por lo cual cuando se trata de resolver casos reales, cuyo tamaño suele ser considerable, se opta por el uso de metaheurísticas, las cuales no siempre obtienen las soluciones óptimas, sin embargo, logran obtener buenos resultados [5]. En este sentido, en este trabajo se propone una mejora del algoritmo de Búsqueda Tabú que por medio de una heurística que elige la mejor solución calculada por tres diferentes reglas de despacho logra mejorar el resultado de la Búsqueda Tabú simple, obteniendo soluciones cercanas a los mejores valores reportados en el estado del arte. La propuesta representa una buena y sencilla opción de implementación para ser aplicada en la solución de diferentes problemas de optimización ya que durante el análisis de los experimentos realizados, se pudo observar que la implementación de una heurística sencilla logra mejorar casi un 50% los resultados obtenidos por el algoritmo estándar o versiones híbridas con reglas de despacho, además de que requiere tiempos cortos de ejecución.

Trabajos relacionados

Dado que la calendarización de tareas es un tema de gran interés para la industria, recientemente, muchas heurísticas se han enfocado en generar propuestas para resolver este tipo de problemas, considerando que es difícil utilizando métodos tradicionales [6]. Uno de los algoritmos que ha mostrado ser efectivo por su habilidad de adaptarse a resolver distintos problemas de gran escala y por obtener resultados cercanos al óptimo es el algoritmo Búsqueda Tabú para el cual se han propuesto algunas mejoras en la solución de diversos problemas de optimización como la calendarización de tareas en máquinas paralelas no idénticas [6], ruteo de vehículos [7], el problema de máxima intersección de k-subconjuntos [8], entre otros. Por otra parte, en la literatura especializada se han desarrollado algunos trabajos donde se muestran diferentes implementaciones de algoritmos para resolver el problema de la tardanza ponderada total de una sola máquina, así por ejemplo en [9], Eren y Güner abordaron el problema de la Tardanza Total Ponderada considerando el efecto de aprendizaje donde se propuso de programación entera para instancias hasta de 25 trabajos, no obstante, dado que el tiempo crece exponencialmente, para resolver instancias hasta de 1000 trabajos se usaron tres métodos Heurísticos: Búsqueda Tabú, Recocido Simulado y Búsqueda Aleatoria, a los cuales se les incorporó como solución inicial el resultado obtenido a ejecutar el algoritmo Eren & Güner. El diseño de experimentos utilizado fue basado en el procedimiento descrito en [10], y concluyeron que la Búsqueda Tabú y el Recocido Simulado tienen una alta efectividad al combinarse con dicho método como solución inicial. En [11] se propuso una estrategia para minimizar el anticipo y la tardanza total de problemas grandes donde se consideran tiempos de configuración por familias. Los autores propusieron inicialmente un algoritmo de Ramificación y Acotamiento, el cual resultó útil para resolver instancias pequeñas, posteriormente propusieron una heurística que inicialmente genera una secuencia y en una segunda fase la secuencia es mejorada aplicando cinco diferentes estrategias, dicha heurística logró resolver en tiempos razonables instancias grandes del problema por lo cual concluyen que se recomienda el uso de las metaheurísticas para la resolución de problemas grandes y complejos. En [12] se hizo uso de un algoritmo de Búsqueda Tabú determinista que utiliza un vecindario híbrido y una lista tabú variable basada en la topología de cada problema, lo cual ayuda a obtener resultados cercanos a los óptimos en tiempos relativamente cortos considerando que no todos los intercambios entre pares son considerados. Es importante mencionar que el algoritmo se inclina a intercambiar trabajos tardíos para minimizar la tardanza total. En [13], se implementó la Búsqueda Tabú incorporando como medio de intensificación la técnica *Path Relinking* con el objetivo de guiar la búsqueda de soluciones considerando los mejores valores encontrados lo cual repercutió en un bajo costo computacional. De la anterior revisión se puede observar que existen diferentes propuestas para mejorar el algoritmo Búsqueda Tabú cuyo objetivo es disminuir el tiempo de ejecución y obtener soluciones óptimas, razón por la cual se propuso la estrategia propuesta en esta investigación.

Metodología

Para implementar la mejora al algoritmo Tabú aplicada a la solución del problema *Single Machine Total Weighted Tardiness* se analizó el problema y se observó el comportamiento de la aplicación de las reglas de despacho FIFO (*Fist In First Out*) [14], SPT (*Shortest Processing Time*) [14] y EDD (*Earliest Due Date*) [14] al resolver el problema en cuestión. Además, se observó el comportamiento del algoritmo de Búsqueda Tabú [15] al combinarse con cada una de las reglas. Con el objetivo de observar las diferencias entre los resultados aplicando diferentes estrategias se utilizó un conjunto de 125 instancias de prueba con 40 tareas a secuenciar denominado WT40, el cual fue extraído del repositorio OR-Library [16]. En el caso de la implementación de la Búsqueda Tabú

implementada considerando las tres diferentes reglas, se observó que en la mayoría de los casos cuando la solución inicial es buena, la solución final tiende a igualar o acercarse al valor óptimo. Por lo anterior se optó por generar una heurística que permitiera calcular con tres diferentes reglas de despacho, la solución inicial de una instancia y posteriormente mejorar la solución aplicando la Búsqueda Tabú. La implementación de los algoritmos se realizó en lenguaje C utilizando un equipo con las siguientes características: Acer V5 131 Series, x64Core i3-3240T 2.90GHz, 4GB RAM, disco duro de 500GB y Windows 10. A continuación se describen los pasos de la metodología seguida.

Problema Single Machine Scheduling

Consiste en secuenciar un conjunto de n trabajos independientes que sólo pueden ser atendidos por una sola máquina o recurso [17]. Cada trabajo es denominado como j_i y cuenta con un tiempo de procesamiento p_j , una fecha de entrega d_j y un peso w_j . La máquina procesa un trabajo a la vez y sin interrupción. El cálculo de la Tardanza Total corresponde a la suma del retraso en la entrega de todos los trabajos en un proceso mediante la Ecuación 1.

$$T_s = \sum_{j=1}^n w_j \max(0, C_{j,s} - d_j) \quad (1)$$

donde T_s corresponde a la Tardanza Total de una planeación s , $C_{j,s}$ se refiere al tiempo de flujo acumulado hasta el trabajo j con una calendarización s , w_j es el coeficiente de prioridad del trabajo j y d_j es la fecha del trabajo j .

Evaluación de instancias con diferentes reglas de despacho

En esta etapa se implementaron las reglas de prioridad FIFO, SPT y EDD para identificar cuál de las reglas de despacho obtiene mejores resultados al resolver las instancias de prueba. A manera de ejemplo se muestra la solución de una instancia sintética de 5 tareas a ser secuenciadas, cada tarea consta de un tiempo de proceso, representado en días, fecha de vencimiento, la cual indica con cuántos días se cuenta para finalizar cada tarea, por simplicidad no se manejan prioridades en las tareas por lo que se asigna un valor de 1 a todas las tareas. En las Tablas 1-3 la columna *Trabajo* corresponde al número de trabajo, la Columna *Tiempo de proceso* se refiere a la cantidad de días que consume terminar una tarea, la columna *Fecha de vencimiento* corresponde al número de días que se tienen para terminar la tarea, la columna *Tiempo de flujo* representa los días en que se termina una tarea considerando los días que se consumieron en terminar las tareas que se realizaron previamente y finalmente, la columna *Tardanza* corresponde a los días de retraso por tarea terminada, considerando el tiempo de flujo menos la fecha de vencimiento.

En la Tabla 1 se observa que aplicando la regla FIFO se obtiene una Tardanza Total de 108 unidades, mientras que al aplicar EDD (Tabla 2) y SPT (Tabla 3) se obtienen resultados de 55 y 45 unidades, respectivamente. En este caso de prueba se observa que la regla SPT encuentra un mejor resultado, sin embargo, no significa que en el cálculo de las soluciones de todas las instancias probadas alcanzó siempre los mejores valores.

Tabla 1. Instancia de prueba inicial, resuelta con FIFO

Trabajo	Tiempo de proceso (días)	Fecha de vencimiento (días)	Tiempo de flujo (días)	Tardanza (días)
1	10	50	10	0
2	30	45	40	0
3	15	25	55	30
4	5	22	60	38
5	20	40	80	40

Tabla 2. Solución de la instancia de prueba aplicando la regla EDD

Trabajo	Tiempo de proceso (días)	Fecha de entrega (días)	Tiempo de flujo (días)	Tardanza (días)
4	5	22	5	0
3	15	25	20	0
5	20	40	40	0

2	30	45	70	25
1	10	50	80	30

Tabla 3. Solución de la instancia de prueba aplicando la regla SPT

Trabajo	Tiempo de proceso (días)	Fecha de entrega (días)	Tiempo de flujo (días)	Tardanza (días)
4	5	22	5	0
1	10	50	15	0
3	15	25	30	5
5	20	40	50	10
2	30	45	80	35

La Figura 1 muestra el comportamiento general de las tres reglas de despacho al resolver las instancias del conjunto de datos WT40, el cual consta de 125 instancias con 40 trabajos a secuenciar. Los resultados mostraron que SPT y EDD obtienen valores más cercanos al mejor conocido. El algoritmo SPT obtuvo más soluciones cercanas que EDD, no obstante, EDD obtuvo más valores óptimos que SPT.

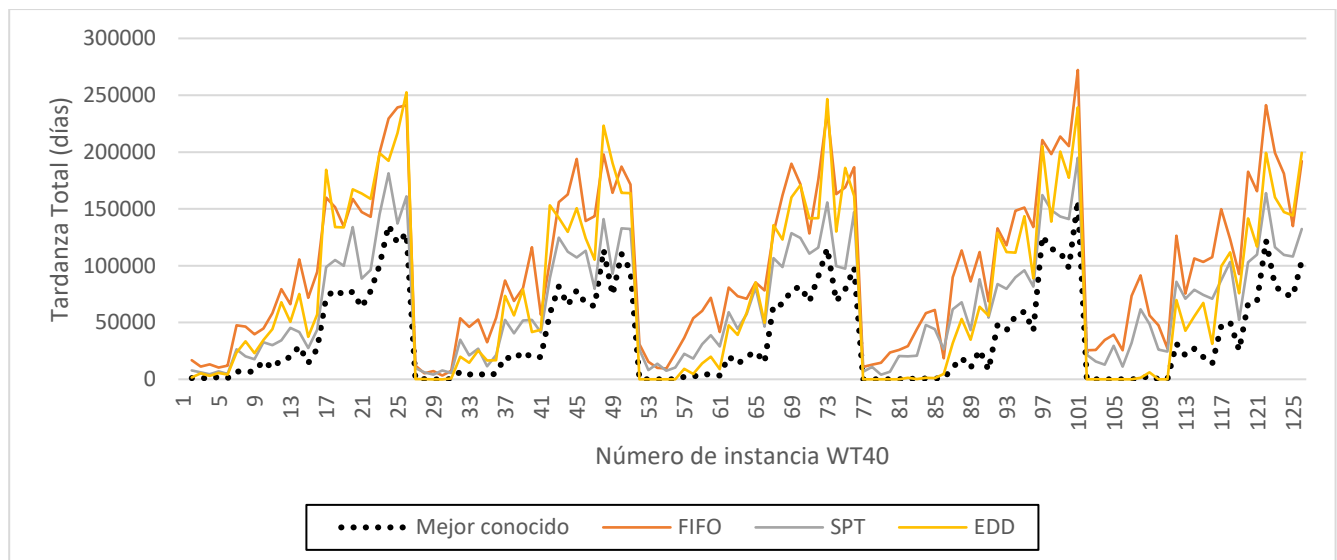


Figura 1. Comparación de soluciones obtenidas aplicando las reglas FIFO, SPT y EDD al resolver el conjunto de instancias WT40.

Implementación de la Búsqueda Tabú con reglas FIFO, SPT y EDD

En esta fase se implementaron tres diferentes versiones del algoritmo Búsqueda Tabú donde se calculó la solución inicial con las reglas FIFO, SPT y EDD, de tal forma que a cada versión de algoritmo se le denominó Tabú FIFO si la solución inicial fue calculada con la regla FIFO, Tabú SPT cuando se calculó la solución inicial con SPT y Tabú EDD cuando la solución inicial fue calculada con EDD. El objetivo fue implementar las tres versiones fue observar con cuál de las reglas se desempeña mejor la búsqueda Tabú.

Los resultados obtenidos fueron graficados en la Figura 2, donde se observa que a pesar de que la regla SPT tuvo un mejor desempeño contra las reglas EDD y SPT, al combinarse con la Búsqueda Tabú, la versión de Tabú EDD logra tener un mejor desempeño, obteniendo de manera general, valores más cercanos al mejor conocido. Sin embargo, en algunas instancias, se produjeron desviaciones considerables. Por otra parte, también se observó que en diferentes casos, las otras dos versiones de los algoritmos (Tabú FIFO y Tabú SPT) obtienen mejores resultados que cuando se aplica Tabú EDD al inicio.

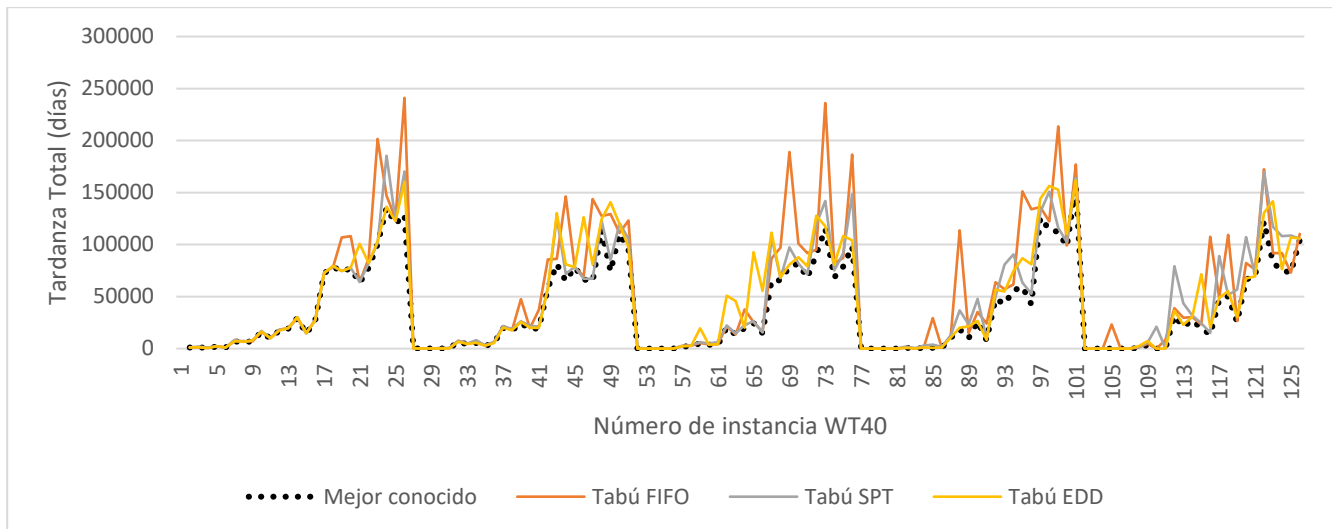


Figura 2. Comparación de soluciones obtenidas aplicando el algoritmo Búsqueda Tabú en combinación con las reglas FIFO, SPT y EDD al resolver el conjunto de instancias WT40.

Implementación de la heurística que mejora la Búsqueda Tabú

Posterior a evaluar el comportamiento de la Búsqueda Tabú con diferentes reglas, se observó que en ciertas instancias se producía un mejor resultado, lo que motivó a generar un algoritmo de selección y generación de soluciones iniciales, el cual genera ordenamientos usando 3 reglas de prioridad, FIFO, EDD y SPT. Para cada una de las reglas se genera su valor de tardanza con la función objetivo de la Ecuación 1, después se comparan sus valores y se elige el de menor valor como solución inicial.

Las características principales del algoritmo de Búsqueda Tabú implementadas se describen a continuación:

Búsqueda local: A partir del cálculo de la solución inicial, se realiza una búsqueda local para explorar soluciones vecinas. Esto se logra intercambiando pares de trabajos hasta que se encuentra el intercambio que genera la secuencia con el menor valor de tardanza total.

Actualización de lista tabú: Corresponde a una matriz de $n \times n$ donde se almacenan En esta fase, después de elegir un movimiento de intercambio, si se encuentra en la lista tabú, se rechaza, siempre y cuando no se cumpla con el criterio de aspiración, que indica que si la solución es mejor que la que se tiene, se agrega a la lista tabú de nuevo. De otra forma, si no se encuentra en la lista tabú, se agrega a la lista tabú y dicho movimiento se prohíbe por 15 iteraciones, transcurrido el periodo de prohibición, puede realizarse nuevamente dicho intercambio.

Memoria a largo plazo: Memoria a largo plazo: corresponde a una matriz donde se registra el número de veces que se acepta un movimiento. La estrategia promueve evitar los movimientos que fueron etiquetados como tabú para moverse hacia espacios intactos o poco frecuentados en búsqueda de soluciones. La memoria a largo plazo está representada por una matriz $n \times n$.

La *condición de parada* del algoritmo consiste en una corrida de 300 iteraciones, ya que en los diversos experimentos se encontró que dicho valor obtiene las mejores soluciones.

La Figura 3 muestra de manera general la forma en la que funciona el algoritmo propuesto, donde se observa que después de leer la instancia, se calcula la tardanza total con los algoritmos FIFO, SPT y EDD, posteriormente se elige la mejor solución (*Mejor*) y a partir de dicha solución se calcula el vecindario con el cual se genera la lista de posibles candidatos a elegir (*ListaCandidatos*). De la lista de candidatos se elige la mejor solución (*SolActual*) y se verifica si está en la lista tabú, de no ser así, se agrega a la lista tabú, se actualiza la matriz de frecuencias, si no se ha alcanzado el criterio de paro (300 iteraciones), la nueva solución se vuelve a utilizar para calcular en nuevo vecindario. Por otra parte si la mejor solución encontrada pertenece a la lista tabú, se verifica si se cumple el criterio de aspiración (que la solución sea mejor que la actual), en caso de cumplirse de actualiza la lista tabú

y la lista de frecuencias, de otra forma, de la lista de candidatos se borra la solución actual y se elige la siguiente mejor solución y se vuelve a verificar si la nueva solución no está en la lista tabú. Al alcanzar el criterio de paro, se imprime la mejor solución encontrada y termina el algoritmo.

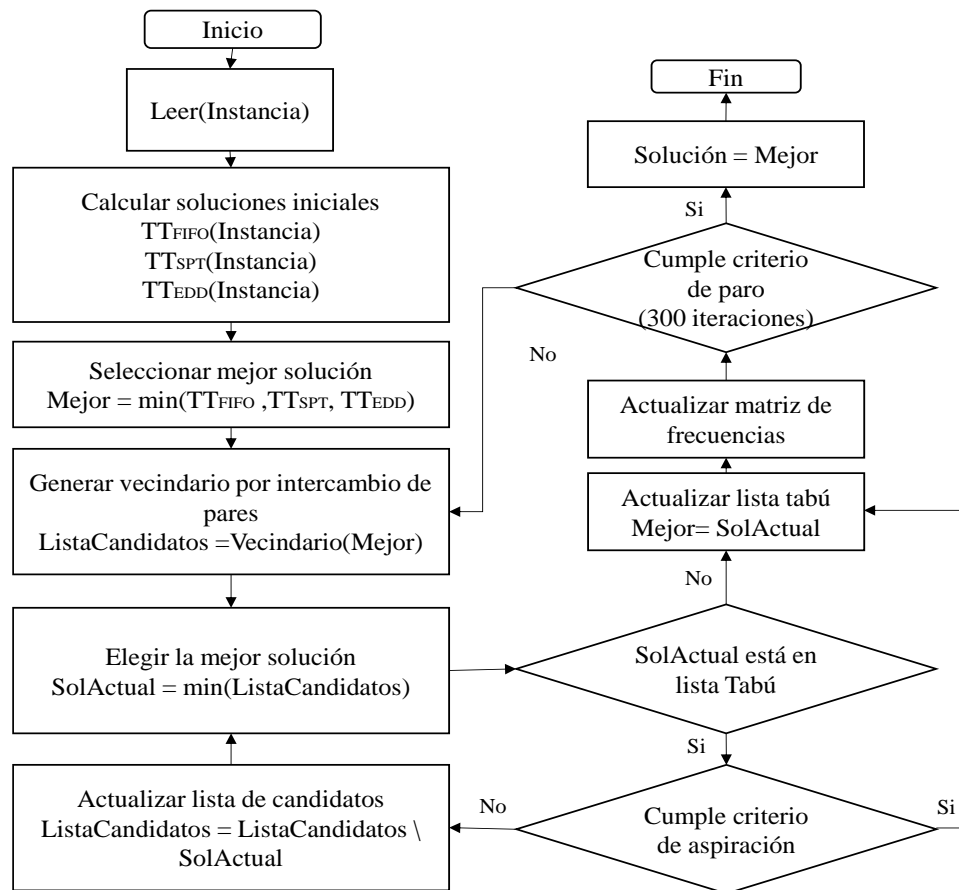


Figura 3. Diagrama de flujo del algoritmo Búsqueda Tabú donde se incorpora la heurística que elige como solución inicial, la mejor solución encontrada al ejecutar las reglas FIFO, SPT y EDD.

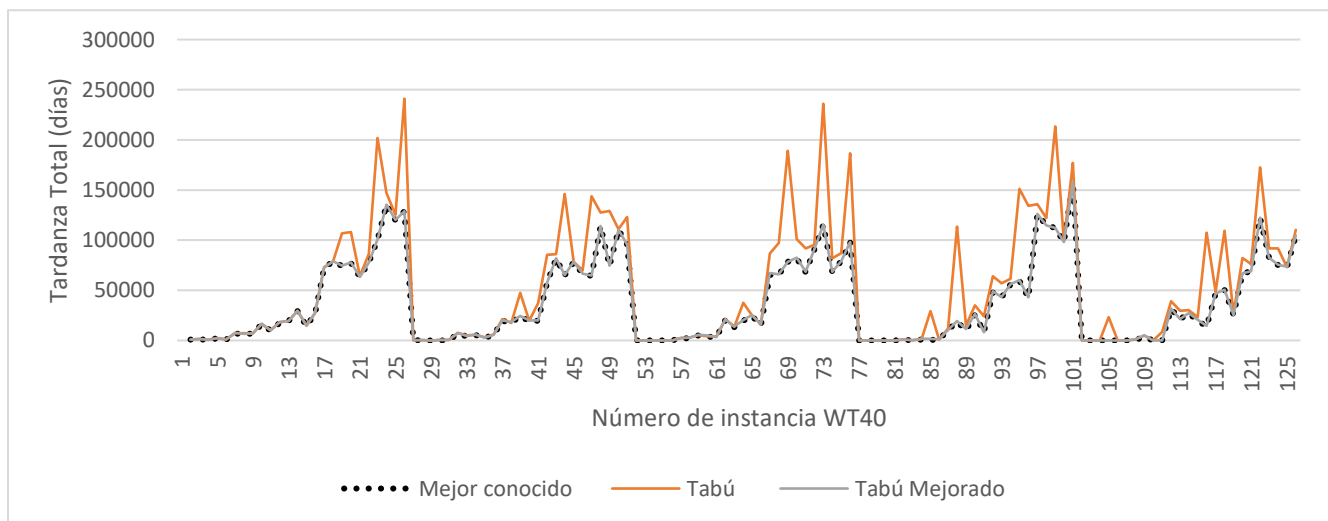


Figura 3. Comparación del algoritmo Búsqueda Tabú mejorada, contra los mejores valores conocidos y el algoritmo Búsqueda Tabú estándar al ejecutar el conjunto WT40.

Al igual que en las fases previas, el algoritmo fue probado con las instancias WT40. En la Figura 3 puede observarse cómo al implementar la heurística propuesta se mejora el desempeño del algoritmo de búsqueda Tabú dado que se comienza con un valor inicial que es considerado cercano a la solución óptima, lo cual reduce la búsqueda.

Experimentación

Para realización de experimentos se utilizaron las instancias del repositorio OR-Library [16], las cuales se componen de 3 conjuntos de 40 (WT40), 50 (WT50) y 100 (WT100) trabajos, cada conjunto contiene 125 problemas diferentes, los cuales varían su dificultad de acuerdo al factor de tardanza, además de la fecha relativa de entrega la cual viene dada por el conjunto {0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0}, entonces el conjunto de problemas consiste en 5 instancias de tamaño, 40, 50 o 100 trabajos por cada combinación del conjunto de factor de tardanza y el conjunto de fecha relativa de entrega.

En la Figura 4 se observa el comportamiento del algoritmo Búsqueda Tabú mejorado, respecto a las diferentes versiones del algoritmo Tabú basado en una sola regla de despacho, al evaluar el conjunto de prueba WT40. Se observa que la versión de Tabú SPT tiende a desviarse menos respecto a las otras 2 versiones que contemplan las reglas EDD y FIFO. El algoritmo mejorado en cambio muestra una tendencia a acercarse más a las mejores soluciones conocidas dado que extrae lo mejor de cada regla y posteriormente mejora la solución.

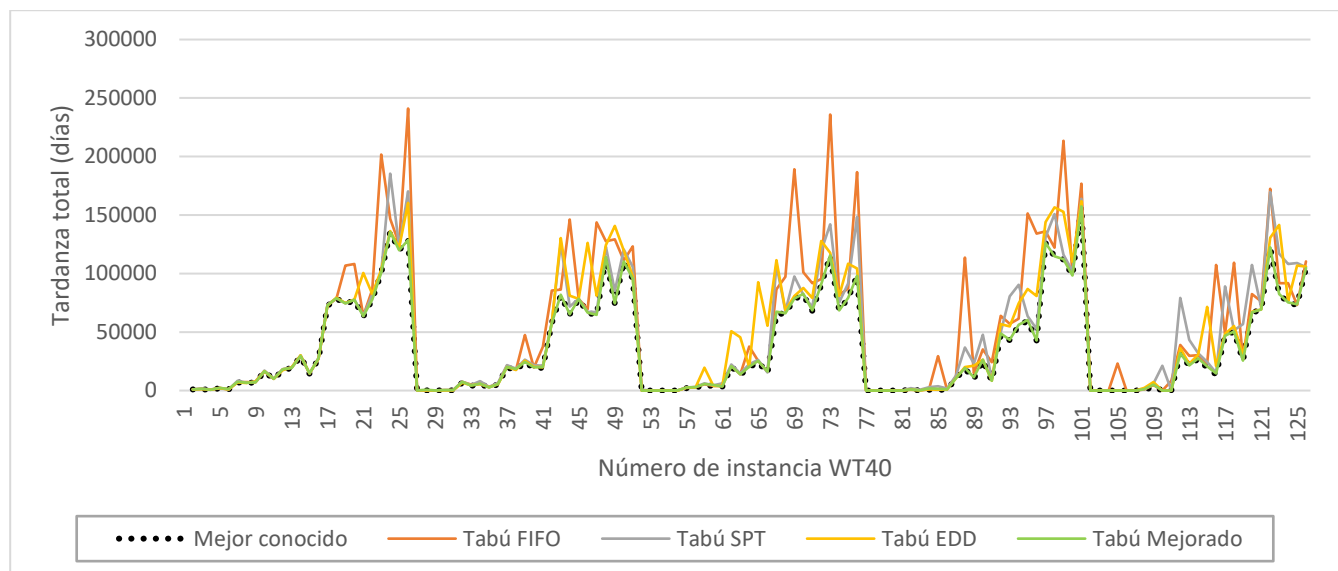


Figura 4. Resultados obtenidos al ejecutar las diferentes versiones del algoritmo de Búsqueda Tabú en comparación contra la versión mejorada, al evaluar el conjunto de instancias de WT40.

En la gráfica de la Figura 5 se muestra la ejecución de los algoritmos con el conjunto de instancias WT50. En este caso nuevamente el algoritmo Tabú FIFO muestra la mayor desviación, mientras que las versiones Tabú EDD y Tabú SPT a pesar de ser mejores, muestran desviaciones muy irregulares, que alejan las soluciones del óptimo. En relación con el algoritmo mejorado, se observa que a pesar de que presenta algunas desviaciones considerables en instancias como la 74 y 75, es el que obtiene los mejores resultados.

La Figura 6 muestra el resultado de la ejecución de los algoritmos Tabú FIFO, Tabú SPT y Tabú EDD con el conjunto de instancias WT100. En este caso particular se observa que Tabú con la solución inicial FIFO tiene menor desviación que las versiones con EDD y SPT. No obstante, la versión mejorada sigue mostrando mejores resultados, encontrando 83 mejores resultados respecto a los algoritmos con una sola regla.

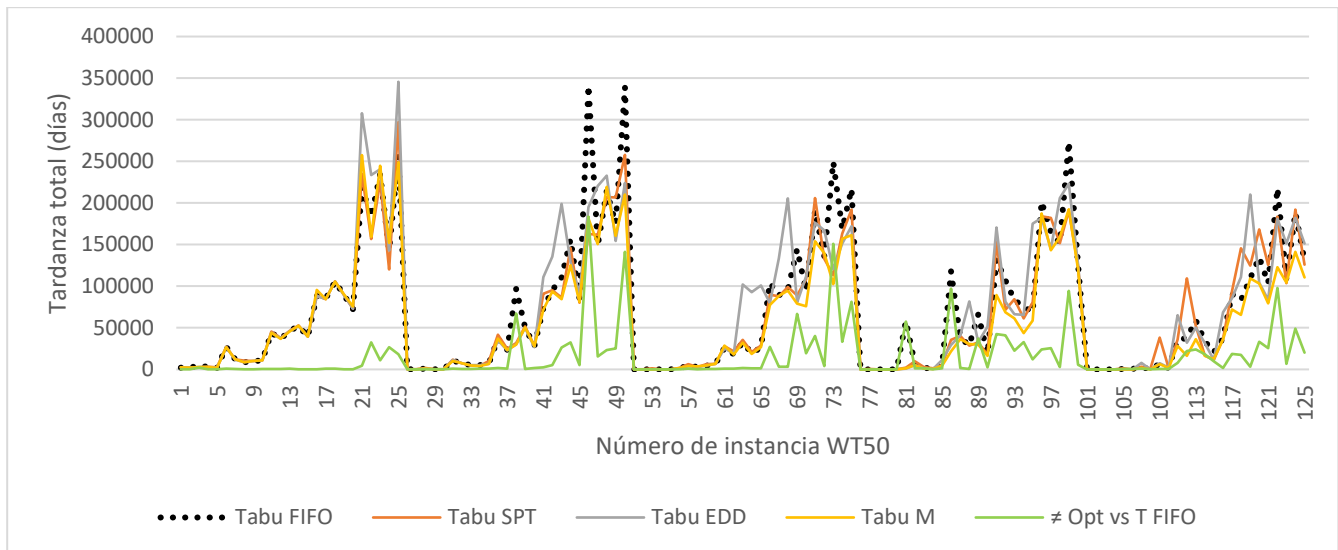


Figura 5 Resultados obtenidos al ejecutar las diferentes versiones del algoritmo de Búsqueda Tabú en comparación contra la versión mejorada, al evaluar el conjunto de instancias de WT50.

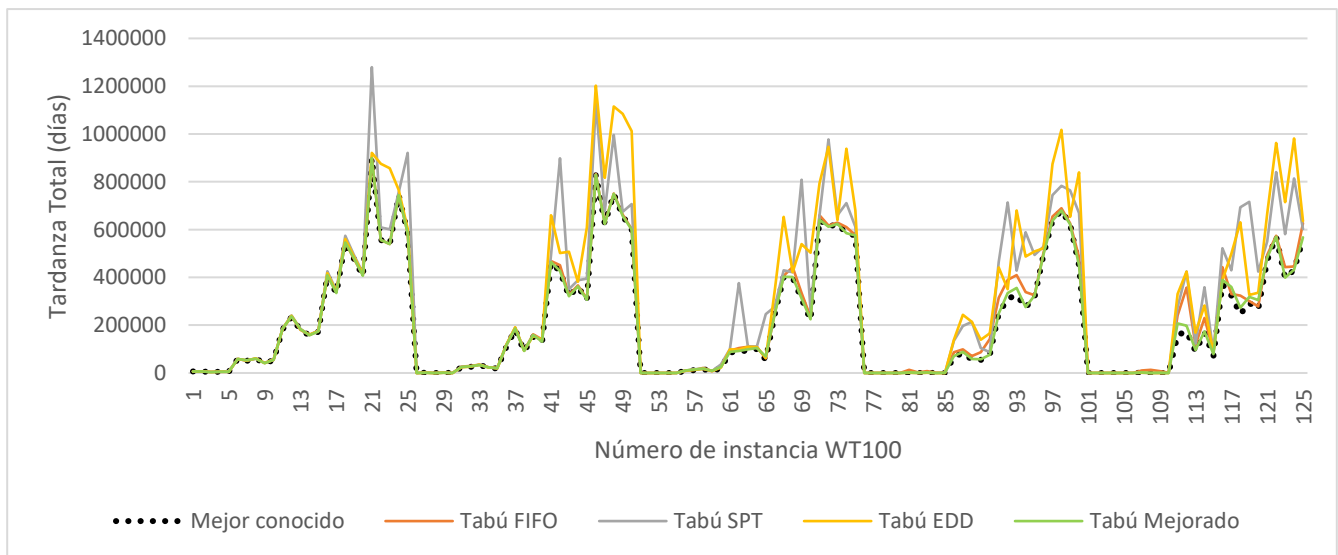


Figura 6 Resultados obtenidos al ejecutar las diferentes versiones del algoritmo de Búsqueda Tabú en comparación contra la versión mejorada, al evaluar el conjunto de instancias de WT100.

Análisis de resultados

En la Tabla 4 se muestra el número de mejores soluciones obtenidas por cada uno de los algoritmos implementados al evaluar las instancias de prueba WT40, WT50 y WT100. La columna *Instancias* corresponde al conjunto de prueba evaluado, las columnas *Tabú FIFO*, *Tabú SPT*, *Tabú EDD* y *Tabú Mejorado* corresponden al número de mejores valores alcanzados de un total de 125 instancias por conjunto de prueba. Con relación al conjunto WT40 se observa que la versión de Tabú combinada con FIFO alcanzó 30 mejores resultados, Tabú SPT presentó el peor desempeño, alcanzando 16 mejores resultados. Tabú EDD alcanzó un total de 45 mejores soluciones. Finalmente, Tabú mejorado fue el que mostró el mejor desempeño con un total de 86 mejores resultados. De manera general, se muestra que la versión mejorada de la Búsqueda Tabú mejoró el desempeño del resto de las versiones, lo cual prueba que el uso de la heurística propuesta contribuyó a la obtención de mejores resultados, mediante la reducción del espacio de búsqueda.

Tabla 4 Cantidad de mejores resultados encontrados por cada versión implementada del algoritmo de Búsqueda Tabú al ejecutar los conjuntos de instancias con 40, 50 y 100 trabajos.

Instancias	Tabú FIFO	Tabú SPT	Tabú EDD	Tabú Mejorado
WT40	30	16	45	86
WT50	25	28	42	76
WT100	32	36	37	83
Total	131	65	117	256

Por otra parte es destacable que la versión de Tabú EDD representa una buena opción, ya que encuentra varias soluciones óptimas y presenta mayor número de mejores soluciones que Tabú FIFO y Tabú EDD.

Trabajo a futuro

Como trabajo futuro se pretende analizar las características de las instancias de prueba para tratar de determinar qué características contribuyen a que cada una de las versiones implementadas logren encontrar los mejores resultados. La finalidad es implementar una heurística que a partir de las características de las instancias logre determinar qué algoritmo es el que mejor las resuelve y robustecer la versión actual.

Conclusiones

En este trabajo se mostró la aplicación de heurísticas como medio de mejora para algoritmos, que de manera natural obtienen buenos resultados, no obstante, pueden seguir siendo mejorados. De manera particular se implementó un nuevo algoritmo que con el uso de una heurística simple, permite encontrar buenas soluciones al problema *Single Machine Total Weighted Tardiness*. La heurística trabaja mediante la selección del mejor valor obtenido para la tardanza total al aplicar las reglas FIFO, SPT y EDD, lo que permite encontrar una solución cerca a la óptima, que posteriormente es mejorada mediante el uso del algoritmo Búsqueda Tabú. La propuesta fue validada utilizando tres conjuntos de prueba de 125 instancias cada uno, con 40, 50 y 100 trabajos a secuenciar. Los resultados muestran que la propuesta de mejora obtiene mejores resultados que la combinación de la Búsqueda tabú con cualquiera de las tres reglas de manera independiente ya que el algoritmo propuesto encontró en un 50% más valores cercanos a las mejores soluciones que las versiones Tabú FIFO, Tabú EDD y Tabú SPT. El algoritmo propuesto es un algoritmo fácil de implementar que puede ser de utilidad para cualquier empresa o negocio donde se produce bajo pedido y solo se cuenta con una máquina para atender los pedidos.

Referencias

- [1] S. Gupta, R. Kumari, R.P. Singh, Lunar cycle inspired PSO for single machine total weighted tardiness scheduling problem, *Evolutionary Intelligence*, 14(1):1355–1366, 2021, <https://doi.org/10.1007/s12065-020-00556-9>.
- [2] O. A. Arık*, M. Schutten, E. Topan, Weighted earliness/tardiness parallel machine scheduling problem with a common due date, *Expert Systems With Applications* 187 (2022) 115916.
- [3] M. Bouska, A. Novák, P. Sucha, I. Módos, and Z. Hanzálek, Data-driven Algorithm for Scheduling with Total Tardiness, In *Proceedings of the 9th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems (ICORES 2020)*, p.p. 59-68, 2020, DOI: 10.5220/0008915300590068.
- [4] J. L. King, W. S. Rajamangala, W. S. Rajamangala, T. W. King, Novel Hybrid Algorithms for a Single Machine Scheduling Problem With an Overtime Constraint, *International Journal of Knowledge and Systems Science*, 13(1):1-26, 2020, DOI: 10.4018/IJKSS.298708.
- [5] S. Muştu & T. Eren, Minimization of the total weighted tardiness on a single machine scheduling problem with a positionbased learning effect and unequal release dates, *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 2021, <https://doi.org/10.1080/03155986.2021.1904538>.
- [6] M. A. Noman, M. Alatefi, A. M. Al-Ahmari, T. Ali, Tabu Search Algorithm Based on Lower Bound and Exact Algorithm Solutions for Minimizing the Makespan in Non-Identical Parallel Machines Scheduling, *Recent Advances in Industrial Mathematics and Applications*, 2021, DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/1856734>

- [7] H. Jia , Y. Li, B. Dong, H. Ya, An Improved Tabu Search Approach to Vehicle Routing Problem, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96:1208-1217, 2013.
- [8] Alejandra Casado, Sergio Pérez-Peló, Jesús Sánchez-Oro & Abraham Duarte, A GRASP algorithm with Tabu Search improvement for solving the maximum intersection of k-subsets problem, *Journal of Heuristics*, 28:121–146, 2022.
- [9] T. Eren, E. Güner. Minimizing total tardiness in a scheduling problem with a learning effect. *Applied Mathematical Modelling*, 31(7):1351–1361, 2007.
- [10] M. Nawaz, E. Emory, I. Ham. A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flow-shop sequencing problem. *Omega*, 11(1):91–95, 1983.
- [11] J. E. Schaller, J. ND Gupta. Single machine scheduling with family setups to minimize total earliness and tardiness. *European Journal of Operational Research*, 187(3):1050–1068, 2008.
- [12] Ümit Bilge, Müjde Kurtulan, and Furkan Kırış. A tabu search algorithm for the single machine total weighted tardiness problem. *European Journal of Operational Research*, 176(3):1423–1435, 2007.
- [13] R. P. Beausoleil, A tabu search approach for the weighted tardiness with sequence-dependent setups in one-machine problem. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, 9(1):35-46, 2002.
- [14] Priority Scheduling Rules. In: Swamidass, P.M. (eds) *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*. Springer, Boston, MA . https://doi.org/10.1007/1-4020-0612-8_708.
- [15] Glover, F., Laguna, M., & Marti, R. Principles of tabu search. *Approximation algorithms and metaheuristics*, 23, 1-12. 2007.
- [16] J.E.Beasley, OR-Library, <http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/orlib/wtinfo.html>, visitado en agosto de 2022.
- [17] J. Dinga, Z. Lü, T. C. E. Cheng, L. Xua, A hybrid evolutionary approach for the single-machine total weighted tardiness problem, *Computers & Industrial Engineering*, 108(1):70-80, 2017.

La evolución de los agentes artificiales a los agentes morales artificiales

Rosa López Ruiz¹, José Antonio Cervantes², Sonia López^{2*},

¹Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 205, rosa.lopez.cb205@dgeti.sems.gob.mx

² Universidad de Guadalajara, antonio.alvarez@academicos.udg.mx, sonia.lopez@academicos.udg.mx

Área de participación: *Sistemas Computacionales*

Resumen

En los últimos años, el ser humano ha experimentado la inclusión de agentes artificiales en su entorno, cómo vehículos no tripulados, el internet de las cosas, ciudades inteligentes e incluso robots humanoides capaces de acompañar y convivir con las personas. Investigadores del área de Inteligencia Artificial están proponiendo diseños de agentes artificiales capaces de imitar la forma en que el ser humano se comporta y realiza diversas tareas. Esto ha dado origen a una sub-disciplina de la Inteligencia Artificial denominada “*la ética de las máquinas*”. Esta área de investigación se centra en el estudio y desarrollo de mecanismos éticos para dotar a los agentes artificiales de las capacidades necesarias para enfrentar problemas éticos que puedan surgir como consecuencia de la interacción entre agentes humanos y agentes artificiales. El objetivo de este artículo es realizar una revisión de la literatura para presentar el estado actual de esta área de investigación.

Palabras clave: *Inteligencia artificial, agentes artificiales, agentes éticos, dilemas morales.*

Abstract

In recent years, human beings have experienced the inclusion of artificial agents in their environment, such as unmanned vehicles, the internet of things, smart cities, and even humanoid robots capable of accompanying and living with people. Researchers in the area of Artificial Intelligence are proposing designs for artificial agents capable of mimicking how humans behave and perform various tasks. This challenge has given rise to a subdiscipline of Artificial Intelligence called "the ethics of machines." This area of research focuses on the study and development of ethical mechanisms to provide artificial agents with the necessary capabilities to face ethical problems that may arise due to the interaction between humans and artificial agents. This article aims to carry out a review of the literature to present the current state of this research area.

Key words: *Artificial intelligence, artificial agents, ethical agents, moral dilemma.*

Introducción

Uno de los objetivos de la Inteligencia Artificial (IA) es el desarrollo de Agentes Artificiales (AAs) capaces de realizar las mismas tareas que realiza el ser humano [1]. No existe una definición única y universal de un Agente Artificial. Sin embargo, en este artículo hemos considerado que un AA es un ente, el cual puede ser físico (como un robot) o virtual (meramente software) y es capaz de percibir su entorno, tomar decisiones de manera independiente (autónoma) para interactuar con su entorno, el cual también puede ser real o virtual. Las tareas que desarrolla un AA pueden ser simples, por ejemplo, tomar la decisión de la ruta a seguir para moverse de un punto a otro, pero también pueden ser tareas complejas, como cuidar de un adulto mayor. En la actualidad, el ser humano vive en una sociedad que cada día se vuelve más digital dado el surgimiento de nuevos conceptos y servicios, tales como: el Internet de las cosas [2], las ciudades inteligentes [3] y la industria 4.0 [4]. Es posible observar como el ser humano ha generado una alta dependencia con respecto a la tecnología. El uso de los dispositivos “*inteligentes*” como: las televisiones inteligentes (smart TV), los celulares inteligentes (smart phone), las redes sociales y lo que hoy en día se le conoce como el metaverso (mundo virtual) son ejemplos de esta fuerte dependencia que está generando el ser humano con respecto a la tecnología que lo rodea. En este contexto, un punto clave es el desarrollo de AAs, los cuales deberían de diseñarse de tal forma que puedan ser capaces de coexistir en armonía con las personas y otros sistemas de cómputo. El desarrollo de AAs para operar en entornos

abiertos y dinámicos implica enfrentar una serie de retos como el diseño e implementación de los mecanismos apropiados para que estos sistemas puedan ser realmente autónomos. Algunas de las funciones a considerar en los AAs son: la percepción de su entorno, la toma de decisiones, la planeación, el aprendizaje y la forma en que se almacena, representa y recupera el conocimiento. La “*autonomía ajustable*” es uno de los enfoques que se ha utilizado para mitigar algunos problemas [5]. La autonomía ajustable propone dotar a los AAs con una autonomía incremental y flexible con el propósito de transferir la toma de decisiones y el control del AA al ser humano cuando se presenta una situación crítica o incierta. Adicionalmente, en el área de estudio de la ética de las máquinas uno de los retos que aún sigue bajo estudio es dotar a los AAs con mecanismos éticos con el propósito de que, estos sistemas sean capaces de enfrentar posibles problemas que surjan como consecuencia de la interacción entre los AAs con los seres humanos. Estos mecanismos éticos deberían permitir una coexistencia segura, sana y armónica entre los AAs con los seres humanos. Un ejemplo de esta interacción dinámica es el uso de vehículos autónomos. Es inevitable, imaginar que, en un futuro no lejano, será más común que las personas vean vehículos autónomos circulando en sus ciudades [6]. Los vehículos autónomos prometen reducir el número de accidentes vehiculares y agilizar el flujo vehicular. Sin embargo, algunos accidentes pueden ser inevitables. El dilema del tranvía [7], [8] es un ejemplo clásico de estos accidentes potenciales. La figura 1 describe un escenario basado en el dilema del tranvía, pero con un vehículo autónomo. En este escenario se asume que un conjunto de peatones va cruzando la carretera sin percatarse que se aproxima un vehículo autónomo a alta velocidad. En ese instante, cuando el vehículo detecta la presencia de los peatones es demasiado tarde, pues existe poca distancia para frenar sin atropellar a los peatones. El dilema surge cuando el vehículo autónomo determina que sólo cuenta con dos opciones, la primera sería mantener su trayectoria y frenar. Sin embargo, atropellará de 2 a 3 peatones. La segunda opción sería cambiar su trayectoria mientras que intenta detener la marcha. Sin embargo, esta segunda opción atropellará a un peatón que se encuentra esperando sobre la banqueta para cruzar la carretera. En este tipo de situaciones donde no existe tiempo suficiente para reaccionar, se puede observar que seguir un enfoque de autonomía ajustable podría no ser viable.

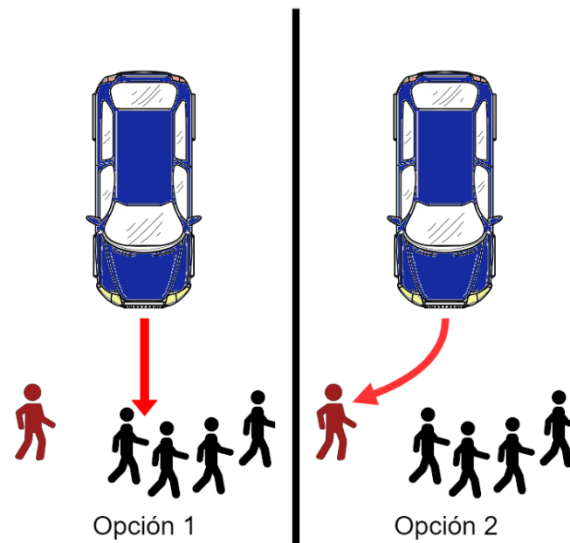


Figura 1. Dilema de un vehículo autónomo.

La comunidad de investigadores que ha abordado esta problemática considera que es un gran desafío definir los algoritmos apropiados que permitan enfrentar tal situación [9], [10]. Esto ha dado pie al diseño de algoritmos basados en enfoques éticos han como una alternativa para que los AAs puedan enfrentar situaciones que incluyen dilemas morales [8], [11], [12]. No obstante, la comunidad científica se ha dividido. Por una parte, podemos encontrar un grupo de investigadores que apoyan el desarrollo de agentes artificiales éticos o morales [9], [10], [13] y aquel grupo de investigadores que critican este enfoque y que consideran inviable el desarrollo de este tipo de agentes [14], [15]. Sin embargo, más que contribuir a este debate, el objetivo de este artículo es ofrecer una revisión de los avances logrados en esta área de investigación hasta este momento.

En este artículo se presenta una descripción de los formalismos propuestos en la literatura para evaluar el diseño de AAs capaces de mostrar un comportamiento ético o moral. Estos AAs son comúnmente conocidos como Agentes Morales Artificiales (AMAs). Adicionalmente, este artículo muestra la tendencia que existe en una de las sub-áreas de la IA para llevar a los AAs a evolucionar con el propósito de generar AMAs. El resto del artículo está estructurado de la siguiente forma. En la sección “La ética y los agentes artificiales” ofrece una descripción de algunos conceptos de la ética, la moralidad y los AMAs. Adicionalmente, se describe de manera breve la clasificación de los AMAs según sus capacidades. En la sección “Dilemas morales en los agentes morales artificiales” presenta algunos ejemplos de dilemas morales con el propósito de mostrar la complejidad que existe al enfrentar este tipo de problemas. En la sección “Metodologías para la evaluación de AMAs” se presentan los marcos de trabajo (frameworks) y modelos formales reportados en la literatura para validar el diseño de AMAs. Finalmente, en la sección “Conclusiones” se resaltan algunos retos con respecto al estado actual de los AMAs.

La ética y los agentes artificiales

El ser humano está buscando delegar parte de su capacidad de toma de decisiones a los AAs. Incrementando de esta manera la responsabilidad y el alcance de las acciones de los AAs. Ejemplo de ello, son los vehículos autónomos [6], los robots diseñados para el cuidado del adulto mayor [16], el control de sistemas críticos en la industria [4] o incluso AAs diseñados para actuar en enfrentamientos bélicos [17].

Dado que los sistemas cada día son más abiertos, descentralizados e “*inteligentes*”, éstos deben ser dotados con mecanismos para enfrentar problemas éticos en diferentes contextos donde los AAs puedan operar. No obstante, una de las interrogantes que aún está en discusión es qué capacidades morales debe tener un AA y cómo esas capacidades deben ser computacionalmente modeladas e implementadas. Una alternativa para resolver estas dudas ha sido estudiar y analizar los conceptos de moralidad y ética del ser humano desde una perspectiva interdisciplinaria con la finalidad de definir un modelo computacional formal basado en estos conceptos [10], [18] [19].

Desde un enfoque filosófico, el filósofo griego Aristóteles fue el primero en usar el término de “*ética*” [20], [21]. El término *ética* tiene sus raíces en la palabra griega “*ethos*”, que significa costumbres o prácticas comunes. Por otra parte, el término “*moral*” o “*moralidad*” proviene del latín “*mores*”, que significa manera, usos, costumbres y hábitos. Más aún, en [20] se especifica que la palabra griega “*ethos*” en latín significa *mores*. Por lo tanto, en este artículo se considera a la ética como la disciplina filosófica que estudia la dimensión moral del ser humano. No obstante, la mayoría de las personas que no conoce los conceptos formales de ética y moral son capaces de reconocer las reglas éticas y/o morales como un conjunto de valores y de buenas conductas usadas para vivir en paz y en armonía con los demás.

De acuerdo con la ética, los comportamientos morales se basan en teorías éticas, como la teoría utilitarista o deontológica [19]. La teoría utilitarista se enfoca en obtener la utilidad máxima, es decir una persona tomaría la decisión basada en la mejor opción para todas las unidades o personas involucradas en el evento. Por lo tanto, un comportamiento utilitario puede ser ético sólo si la suma de la utilidad producida por la acción es mayor que la producida por cualquier otra acción [22]. Con respecto a la teoría deontológica, el enfoque se refiere a un comportamiento asociado a deberes y limitaciones [23]. Esta teoría de la ética se trata de seguir normas universales que dictan a las personas como comportarse ante una situación, es decir, establece las acciones como correctas o incorrectas. Este enfoque se centra en principios individuales y no en las consecuencias de una acción [24]. Estas dos teorías éticas son las que comúnmente han sido utilizadas para inspirar el desarrollo de modelos computacionales éticos, siendo el utilitarismo la teoría ética más ampliamente utilizada.

En el campo de estudio de la ética de las máquinas, los agentes éticos artificiales son comúnmente conocidos como agentes morales artificiales. Es decir, estos dos términos han sido utilizados de forma indistinta por los investigadores de esta área. No obstante, en este artículo utilizaremos el término de agentes morales artificiales por ser el término mayormente usado y difundido en este campo de estudio. En [25] definen un AMA como: un agente virtual (software) o físico (robot) capaz de exhibir un comportamiento moral o al menos evitar el comportamiento inmoral. En [26] se clasifican los agentes éticos en tres tipos: implícitos, explícitos, y totalmente éticos.

- a) *Agentes éticos implícitos.* Este tipo de agentes son incapaces de distinguir entre un comportamiento bueno o malo. Sin embargo, pueden actuar de manera ética porque sus funciones internas muestran un comportamiento ético implícito o al menos evitan un comportamiento no ético. Por ejemplo, un cajero automático, puede ser considerado un agente ético implícito. Este agente es capaz de realizar diversas transacciones bancarias como entregar dinero, realizar transferencias, pagar servicios, etc. Su ética es implícita porque no buscan defraudar a los clientes.
- b) *Agentes éticos explícitos.* Este tipo de agentes son capaces de operar con reglas éticas. Estas reglas se implementan explícitamente en su código a través de diferentes formalismos como la lógica deóntica, la lógica epistémica, la lógica deductiva y la lógica inductiva [27]. En esta categoría los AMAs pueden determinar la mejor acción a realizar con base en un enfoque o teoría ética.
- c) *Agentes totalmente éticos.* Actualmente, sólo el ser humano es considerado capaz de ser un agente totalmente ético, porque cuenta con capacidades exclusivas: las creencias, los deseos, las intenciones, el libre albedrío y la conciencia de sus acciones. Sin embargo, existe un debate relacionado con la incógnita: “si algún día, una máquina podría llegar a ser un agente totalmente ético” [26].

Dilemas morales en los agentes morales artificiales

Los dilemas morales representan los escenarios más complejos y polémicos de enfrentar para cualquier agente, sea artificial o humano. Existen dos situaciones básicas no exclusivas en las que pueden surgir conflictos éticos: la primera, se da dentro del propio agente, cuando dos o más de las normas éticas (reglas) del agente están en conflicto; la segunda, se da entre dos agentes, cuando estos agentes morales tienen formas de razonamiento diferentes acerca de qué es ético o no. Esta segunda situación implica tanto una interacción entre agentes morales artificiales como entre un agente moral artificial y un ser humano debido al origen del conflicto que podría ser el mismo (los involucrados tienen diferentes formas de razonar). A partir de las dos situaciones básicas, pueden surgir situaciones basadas en el número de agentes involucrados en el dilema, los tipos de estos agentes (artificiales o humanos), su nivel de relación y el tipo de dilema. El número de agentes involucrados en el dilema incluye a todos aquellos agentes que podrían verse afectados por la decisión que se tome. Los tipos de agentes involucrados pueden ser artificiales, humanos o una combinación de ellos. El nivel de la relación se asocia con los tipos de agentes involucrados en el dilema, es decir, pueden ser agentes identificados con o sin ninguna familiaridad como amigos, familiares o totalmente desconocidos [28]. Con la finalidad de mostrar la complejidad de la toma de decisiones en problemas con dilemas morales, se describen algunos escenarios representativos en los cuales un AMA podría estar involucrado.

- a) *Un agente simple.* Este caso se basa en el dilema del tranvía. Como se describe en la Fig. 1, el automóvil autónomo es controlado por un AMA. El agente tiene definido un conjunto de normas éticas (reglas) que guían su comportamiento. En este caso el agente conoce y respeta todas las reglas de tránsito, pero puede romperlas cuando la vida de un ser humano se encuentre en peligro. Esta es una situación difícil, que genera las siguientes preguntas: ¿Qué debería hacer el AMA en este caso?, ¿Cuál sería la mejor opción?
- b) *Un agente cooperativo.* Considere un ecosistema de servicio [29], una de las características del ecosistema es que los dispositivos son gobernados por AMAs, los cuales son capaces de cooperar con otros AMAs. Ahora, suponga que una persona está usando un teléfono celular para apostar. Sin embargo, estas aplicaciones consumen más recursos (de memoria o cómputo) de los que tiene el dispositivo. Entonces, antes de comenzar el juego, el AMA encargado de gestionar los recursos del celular solicita apoyo de un segundo AMA (el cual gobierna otro dispositivo). Este AMA acepta cooperar con el teléfono celular, pero en medio de la partida (juego) un tercer AMA es capaz de monitorear los signos vitales de su dueño, en ese instante detecta una emergencia y solicita ayuda al segundo AMA. Sin embargo, el segundo AMA no puede manejar ambos servicios (el juego de apuestas y la emergencia para contactar con un hospital que le brinde asistencia médica al paciente). En este caso, el AMA tiene dos opciones, la primera es ignorar la solicitud de contactar con un hospital y así respetar el acuerdo de ayudar al primer AMA; la segunda opción sería atender la emergencia, esto haría que el jugador se desconectaría del juego y en consecuencia perderá su dinero. Como se puede observar cada opción implica consecuencias éticas y pérdidas. Si el AMA decide atender la emergencia y ésta resulta ser un falso positivo, el jugador se

molestará porque confió en el servicio y fue defraudado. En este caso, ¿Quién será el responsable de reponer la pérdida económica del jugador? Además, se perdería la confianza de los usuarios para utilizar este tipo de tecnología. Por otra parte, si el AMA decide ignorar la emergencia, la consecuencia de esa decisión podría poner en peligro la vida de una persona.

- c) *Un robot social comprometido.* Considere el caso de un agente artificial físico (un robot), el cual ha sido diseñado para cuidar a un adulto mayor [30]. El adulto mayor decide caminar un par de minutos en el parque para hacer ejercicio, mientras tanto, un ladrón intenta asaltarlo con un cuchillo. Al percatarse de la situación, el adulto mayor le pide al agente artificial que detenga al ladrón. En este caso, el agente tiene dos opciones, la primera es enfrentar al ladrón, pero como consecuencia el ladrón podría resultar lesionado. La segunda opción es no hacer nada para no dañar al ladrón, pero existe la posibilidad que el adulto mayor sufra un daño causado por el ladrón. ¿Cómo podría el robot enfrentar esta situación? Si algunas de sus reglas de comportamiento indican que no debe dañar ni matar personas, pero, por otra parte, debe proteger y ayudar a su dueño o compañero quien se encuentra en una situación vulnerable.
- d) *Un asistente electrónico.* Considere el caso de un dispositivo inteligente que se usa para monitorear el estado de salud de una persona [31]. Su tarea es informar al paciente sobre sus signos vitales y en caso de detectar signos vitales con un valor irregular, el dispositivo debería contactar al médico y a los familiares del paciente. Considere que el dispositivo detecta algunas señales que clasifica como irregulares, pero el paciente se siente bien y no desea informar de esta situación a nadie, porque cree que es una falsa alarma. En este caso el AMA está involucrado en un dilema porque tiene dos opciones, la primera es respetar la decisión del paciente y la segunda es informar la situación actual. ¿Qué opción debería tomar el AMA, si alguna de sus reglas está en conflicto?

Los escenarios descritos en esta sección buscan mostrar la complejidad de dotar a los AMAs con los mecanismos apropiados para enfrentar situaciones bajo un dilema moral. Los AMAs pueden encontrarse en diversas situaciones en las que se requiera interactuar con otros agentes que basan su comportamiento en enfoques éticos diferentes, actuar con los mismos seres humanos o compartir decisiones con ellos. Algunas tomas de decisiones éticas pueden ser más complejas o críticas que otras. Una solución podría ser delegar la toma de decisión a una persona, sin embargo, esto puede resultar inviable en ciertos escenarios donde no existe el tiempo suficiente para transferir la toma de decisiones y el control a una persona.

Metodologías para la evaluación de AMAs

A pesar de que el área de estudio enfocada al desarrollo de frameworks y métodos para evaluar formalmente el diseño de AMAs surgió hace dos décadas, son pocos los trabajos reportados en la literatura. Los frameworks y métodos propuestos para evaluar formalmente el diseño de AMAs se describen a continuación:

- *Framework para la verificación formal de las propiedades éticas en sistemas multi-agentes.* Este framework lógico ofrece una especificación y verificación formal del comportamiento de los AMAs y está basado en el método GDT4MAS [32]. Este método valida que las reglas éticas y morales de los AMAs hayan sido expresadas como propiedades invariantes. Este framework también incluye un sistema de transformación de predicados, el cual es utilizado para convertir predicados asociados a reglas morales en otros predicados equivalentes, pero con ciertas propiedades formales para verificar que un AMA será capaz de seguir una regla moral dada.
- *Athena.* Se trata de un framework lógico capaz de probar teoremas de la lógica polimórfica de primer orden. Este framework incorpora diversas funciones para la generación de modelos, la demostración automatizada de teoremas y la representación y verificación de pruebas estructuradas para evaluar el razonamiento ético en los AMAs [33]. Este framework ha sido utilizado para implementar cálculos de deducción natural para una lógica deóntica de agentes, la cual está basada en una semántica aumentada con un enfoque en el utilitarismo. De acuerdo con Arkoudas et al. [33], el framework de Athena también se ha utilizado para codificar un sistema de deducción natural para razonar sobre el comportamiento que deben mostrar los AMAs.
- *Metodología para la verificación de componentes de toma de decisiones en sistemas autónomos basados en agentes.* Esta metodología fue propuesta para la verificación de sistemas autónomos (como los

vehículos autónomos) basados en dos tipos de agentes conocidos como agente general y agente racional. En estos sistemas, un agente general es un agente artificial autónomo capaz de tomar decisiones de bajo impacto como, por ejemplo, evitar un obstáculo o seguir una ruta. Por otra parte, un agente racional es un agente artificial autónomo basado en una arquitectura BDI (por sus siglas en inglés, de creencias, deseos e intenciones) capaz de tomar decisiones de alto impacto como, por ejemplo, decisiones éticas, selección del plan, selección del objetivo, comunicación y predicción [34]. La metodología para la verificación de los módulos del sistema de decisiones de sistemas basados en agentes es a través de un enfoque de puntos de control para realizar la verificación formal del sistema de toma de decisiones de un agente racional (agente BDI) que interactúa con un sistema de control subyacentes denominado agente general.

Adicionalmente a estos frameworks y métodos para la verificación formal de AMAs. Se identificó en la literatura un conjunto de modelos computacionales y frameworks para el desarrollo de AMAs. Los cuales se describen a continuación:

- **MoralDM.** Este es un modelo computacional que trata de imitar el proceso de toma de decisiones morales del ser humano [23], [35], [36]. Este modelo integra distintas técnicas de IA como, por ejemplo, el procesamiento del lenguaje natural para la representación formal de estímulos psicológicos, un algoritmo de razonamiento cualitativo para medir el impacto de valores seculares en contra de valores “sagrados”, un algoritmo de razonamiento analógico para determinar las consecuencias y la utilidad (recompensa) en decisiones morales. La Figura 2 muestra el diseño conceptual de este modelo computacional.

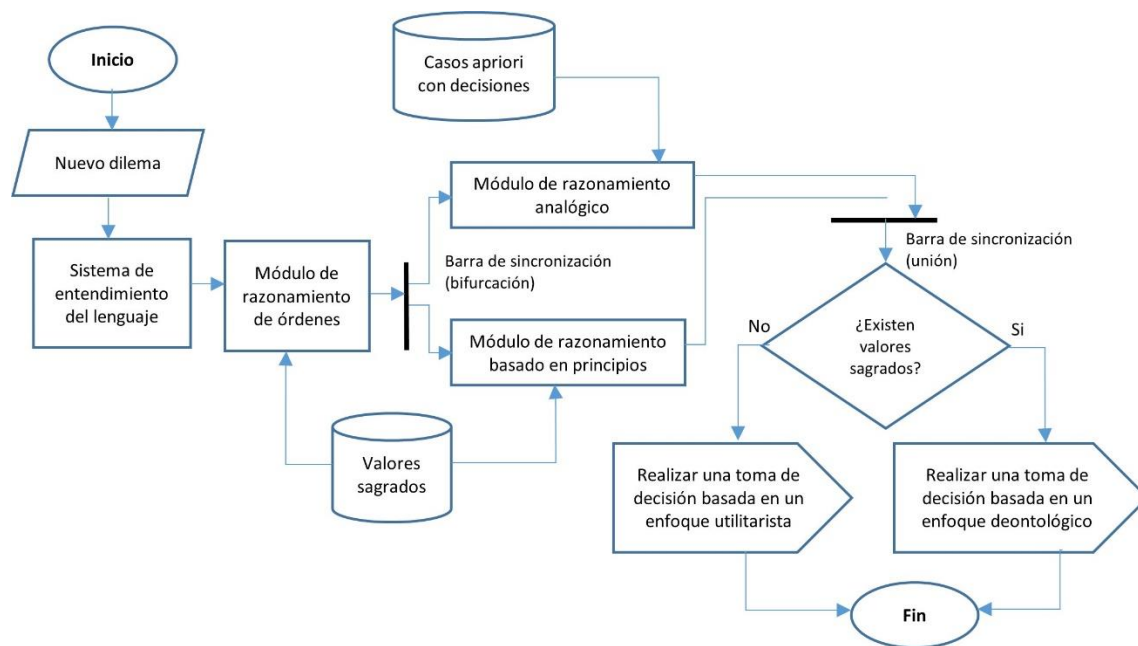


Figura 2. Arquitectura MoralDM.

Actualmente, MoralDM es capaz de exhibir tanto un comportamiento utilitarista como un comportamiento deontológico [23], [37].

- **Casulist BDI-agent.** Esta es una arquitectura que extiende la arquitectura de los agentes BDI. La arquitectura Casuist BDI-agent combina un enfoque casuístico con una teoría consecuencialista de la ética. Sin embargo, esta arquitectura se basa principalmente en experiencias pasadas y no incluye reglas éticas o morales en su código. Los agentes diseñados con esta arquitectura exhiben comportamientos similares a cualquier agente BDI cuando enfrentan una situación nueva (sin experiencias pasadas). Posteriormente el comportamiento del agente es evaluado por un módulo responsable de evaluar cada caso. La figura 3 muestra el diseño conceptual de esta arquitectura.

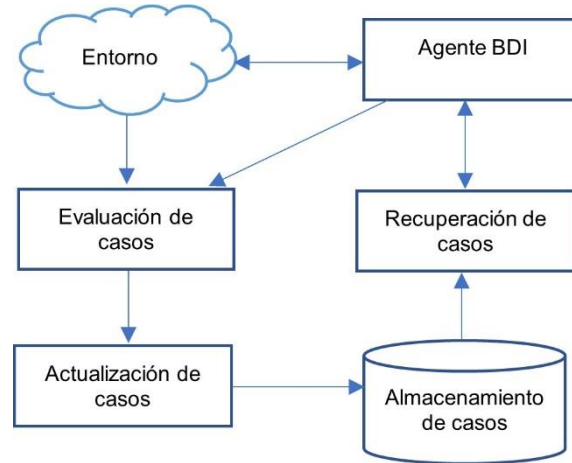


Figura 3. Arquitectura Casuist BDI-agent.

Para evaluar las experiencias nuevas, un agente de tipo Casuist BDI-agent clasifica a las entidades como: un ser humano, una organización y una entidad artificial involucradas en una situación dada. Adicionalmente se establece un peso a cada entidad, la probabilidad de afectar a una entidad, así como la duración de agrado o desagrado percibida por cada entidad después de que ésta ha sido afectada por la decisión del agente. De esta manera y utilizando las ecuaciones 1, 2, 3 y 4, el módulo del agente encargado de evaluar los casos nuevos es capaz de cuantificar e integrar el placer de las entidades afectadas.

$$TNPH = \sum_{i=1}^n Wh_i \cdot Ph_i \cdot Th_i \quad (1)$$

Donde $TNPH$ representa el placer total de las personas, Wh_i es el peso asignado a cada persona, Ph_i es la probabilidad de que una persona sea afectada por la decisión del agente y Th_i representa la duración del agrado o desagrado de cada persona. Finalmente, n representa el número de personas involucradas en una situación dada.

$$TNPO = \sum_{i=1}^n Wo_i \cdot Po_i \cdot To_i \quad (2)$$

Donde $TNPO$ representa el placer total de las organizaciones, Wo_i es el peso asignado a cada organización, Po_i es la probabilidad de que una organización sea afectada por la decisión del agente y To_i representa la duración del agrado o desagrado de cada organización. Finalmente, n representa el número de organizaciones involucradas en una situación dada.

$$TNPA = \sum_{i=1}^n Wa_i \cdot Pa_i \cdot Ta_i \quad (3)$$

Donde $TNPA$ representa el placer total de las entidades artificiales (AAs o AMAs), Wa_i es el peso asignado a cada entidad artificial, Pa_i es la probabilidad de que una entidad artificial sea afectada por la decisión del agente y Ta_i representa la duración del agrado o desagrado de cada entidad artificial. Finalmente, n representa el número de entidades artificiales involucradas en una situación dada. La ecuación 4 muestra cómo el agente integra el placer total calculado por cada tipo de entidad.

$$TNP = TNPH \cdot W_h + TNPO \cdot W_o + TNPA \cdot W_a \quad (4)$$

Donde W_h , W_o y W_a representan el grado de participación de las personas, organizaciones y entidades artificiales, respectivamente. De esta forma un agente de tipo Casuist BDI-agent es capaz de crear y almacenar en su memoria nuevas experiencias para mejorar y/o adaptar su comportamiento cuando estos casos se vuelven a presentar.

- *GenEth*. Este modelo computacional es considerado un analizador general de dilemas éticos. El conocimiento de GenEth está basado en conceptos de características éticas relevantes, obligaciones, acciones, casos y principios [38]. Las características éticas relevantes incluyen el grado de presencia o ausencia de las obligaciones. Una acción es descrita como una tupla de enteros donde cada valor representa el grado con el cual la acción satisface o viola una obligación dada. Un caso relaciona dos acciones y es representado como una tupla con el diferencial del grado de satisfacción/violación de la obligación a la cual está asociada cada acción. Finalmente, un principio de preferencia de acción ética se define como un predicado de forma normal disyuntiva p en términos de los límites inferiores de los diferenciales de una obligación de un caso. El siguiente ejemplo muestra la forma general en la que se define un predicado en GenEth:

$$\begin{aligned} p(a_1, a_2) \leftarrow \Delta d_1 \geq v_{1,1} \wedge \cdots \wedge \Delta d_m \geq v_{1,m} \\ \vee \\ \cdots \\ \vee \\ \Delta d_n \geq v_{n,1} \wedge \cdots \wedge \Delta d_m \geq v_{n,m} \end{aligned} \quad (6)$$

Donde Δd_i denota el diferencial de una obligación correspondiente i de las acciones a_1 y a_2 ; $v_{i,j}$ denota el límite inferior del diferencial tal que $p(a_1, a_2)$ devuelve verdadero si la acción a_1 es éticamente preferible sobre la acción a_2 y falso en cualquier otro caso.

Conclusiones

Este artículo muestra cómo la interacción que poco a poco se está generando entre el ser humano y los sistemas autónomos, ha generado nuevos retos para crear sistemas AAs capaces de coexistir en armonía con las personas y otros sistemas. Dotar a los AAs con mecanismos éticos ha sido un enfoque inicial que surge en el campo de la ética de las máquinas. Este artículo presenta el trabajo que se ha realizado para llevar a los AAs a evolucionar con el objetivo de desarrollar AMAs. Sin embargo, dada la evidencia encontrada en la literatura, es notable que actualmente no existe un AMA capaz de tomar decisiones éticas en un contexto tan complejo como el que surge cuando existe un dilema moral. No obstante, el trabajo desarrollado en esta área de investigación ha permitido diseñar algunas metodologías y frameworks para validar el desarrollo de AMAs. Adicionalmente, se ha observado que ya existen algunos modelos computacionales capaces de enfrentar ciertos dilemas morales bajo entornos muy limitados y controlados. Consideramos que esta área de investigación aún se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo y que aún existe un camino largo que seguir antes de que este tipo de agentes artificiales puedan reemplazar el juicio humano en situaciones morales ambiguas o inciertas.

Referencias

- [1] T. Kishi, K. Hashimoto y A. Takanishi, «Human like face and head mechanism,» *Humanoid robotics: A reference*, pp. 1-26, 2017.
- [2] D. Bandyopadhyay y J. Sen, «Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization,» *Wireless personal communications*, vol. 58, n° 1, pp. 49-69, 2011.
- [3] M. Batty, K. W. Axhausen, F. Giannotti, A. Pozdnoukhov, A. Bazzani, M. Wachowicz, G. Ouzounis y Y. Portugali, «Smart cities of the future,» *Springer*, vol. 214, n° 1, pp. 481-518, 2012.
- [4] S. Wang, J. Wan, D. Zhang, D. Li y C. Zhang, «Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination,» *Computer networks*, vol. 101, pp. 158-168, 2016.
- [5] S. A. Mostafa, M. S. Ahmad y A. Mustapha, «Adjustable autonomy: a systematic literature review,» *Artificial Intelligence Review*, vol. 51, n° 2, pp. 149-186, 2019.

- [6] S. Reig, S. Norman, C. G. Morales, S. Das, A. Steinfeld y J. Forlizzi, «A field study of pedestrians and autonomous vehicles,» de *Proceedings of the 10th international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications*, 2018.
- [7] S. Epting, «A different trolley problem: The limits of environmental justice and the promise of complex moral assessments for transportation infrastructure,» *Science and engineering ethics*, vol. 22, n° 6, pp. 1781-1795, 2016.
- [8] J. Gogoll y J. F. Muller, «Autonomous cars: in favor of a mandatory ethics setting,» *Science and engineering ethics*, vol. 23, n° 3, pp. 681-700, 2017.
- [9] L. M. Pereira, «Evolutionary Machine Ethics,» de *Handbuch Maschinenethik*, Springer, 2019, pp. 229-253.
- [10] B. F. Malle, «Integrating robot ethics and machine morality: the study and design of moral competence in robots,» *Ethics and Information Technology*, vol. 18, n° 4, pp. 243-256, 2016.
- [11] N. J. Goodall, «Ethical decision making during automated vehicle crashes,» *Transportation Research Record*, vol. 2424, n° 1, pp. 58-65, 2014.
- [12] J.-F. Bonnefon, A. Shariff y I. Rahwan, «The social dilemma of autonomous vehicles,» *Science*, vol. 352, n° 6293, pp. 1573-1576, 2016.
- [13] L. M. a. L. A. B. Pereira, «Employing AI for Better Understanding Our Morals,» de *Machine Ethics*, Springer, 2020, pp. 121-134.
- [14] A. Van Wynsberghe y S. Robbins, «Critiquing the reasons for making artificial moral agents,» *Science and engineering ethics*, vol. 25, n° 3, pp. 719-735, 2019.
- [15] R. V. Yampolskiy, «Artificial intelligence safety engineering: Why machine ethics is a wrong approach,» de *Philosophy and theory of artificial intelligence*, Springer, 2013, pp. 389-396.
- [16] S. Góngora Alonso, S. Hamrioui, I. de la Torre Díez, E. Motta Cruz, M. López-Coronado y M. Franco, «Social robots for people with aging and dementia: a systematic review of literature,» *Telemedicine and e-Health*, vol. 25, n° 7, pp. 533-540, 2019.
- [17] R. Arkin, «Lethal autonomous systems and the plight of the non-combatant,» de *The political economy of robots*, 2018.
- [18] N. S. Govindarajulu, S. Bringjsord y R. Ghosh, «One Formalization of Virtue Ethics via Learning,» *arXiv preprint arXiv:1805.07797*, 2018.
- [19] W. Wallach, «Robot minds and human ethics: the need for a comprehensive model of moral decision making,» *Ethics and Information Technology*, vol. 12, n° 3, pp. 243-250, 2010.
- [20] C. Andino, «Place of ethics between technical knowledge. A philosophical approach,» *Revista Científica de la UCSA*, vol. 2, n° 2, pp. 85-94, 2015.
- [21] G. Hughes, *Routledge philosophy guidebook to Aristotle on ethics*, Routledge, 2013.
- [22] O. C. Ferrell y L. G. Gresham, «A contingency framework for understanding ethical decision making in marketing,» *Journal of marketing*, vol. 49, n° 3, pp. 87-96, 1985.
- [23] M. Dehghani, E. Tomai, K. D. Forbus y M. Klenk, «An Integrated Reasoning Approach to Moral Decision-Making,» de *AAAI*, 2008.
- [24] I. Van Staveren, «Beyond utilitarianism and deontology: Ethics in economics,» *Review of Political Economy*, vol. 19, n° 1, pp. 21-35, 2007.
- [25] J.-A. Cervantes, S. López, L.-F. Rodríguez, S. Cervantes, F. Cervantes y F. Ramos, «Artificial moral agents: A survey of the current status,» *Science and Engineering Ethics*, vol. 26, n° 2, pp. 501-532, 2020.

- [26] J. H. Moor, «The nature, importance, and difficulty of machine ethics,» *IEEE intelligent systems*, vol. 21, n° 4, pp. 18-21, 2006.
- [27] G. H. Von Wright, «Deontic logic,» *Mind*, vol. 60, n° 237, pp. 1-15, 1951.
- [28] J.-A. Cervantes, L.-F. Rodríguez, S. López, F. Ramos y F. Robles, «Autonomous agents and ethical decision-making,» *Cognitive Computation*, vol. 8, n° 2, pp. 278-296, 2016.
- [29] M. Viroli, D. Pianini, S. Montagna y G. Stevenson, «Pervasive ecosystems: a coordination model based on semantic chemistry,» de *Proceedings of the 27th annual ACM symposium on applied computing*, 2012.
- [30] A. Sharkey y N. Sharkey, «Granny and the robots: ethical issues in robot care for the elderly,» *Ethics and information technology*, vol. 14, n° 1, pp. 27-40, 2012.
- [31] M. B. Van Riemsdijk, C. M. Jonker y V. Lesser, «Creating socially adaptive electronic partners: Interaction, reasoning and ethical challenges,» de *Proceedings of the 2015 international conference on autonomous agents and multiagent systems*, 2015.
- [32] B. Mermet y G. Simon, «Formal Verification of Ethical Properties in Multiagent Systems,» de *1st Workshop on Ethics in the Design of Intelligent Agents*, 2016.
- [33] K. Arkoudas, S. Bringsjord y P. Bello, «Toward ethical robots via mechanized deontic,» de *Logic, AAI Fall Symposium on Machine Ethics*, AAAI, 2005.
- [34] L. Dennis, M. Fisher, M. Slavkovik y M. Webster, «Formal verification of ethical choices in autonomous systems,» *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 77, pp. 1-14, 2016.
- [35] J. A. Blass, «Interactive learning and analogical chaining for moral and commonsense reasoning,» de *Thirtieth AAAI conference on artificial intelligence*, 2016.
- [36] J. A. Blass y K. D. Forbus, «Moral decision-making by analogy: Generalizations versus exemplars,» de *Twenty-Ninth AAAI conference on artificial intelligence*, 2015.
- [37] M. Guerini, F. Pianesi y O. Stock, «Is it morally acceptable for a system to lie to persuade me?,» de *Workshops at the twenty-ninth AAAI conference on artificial intelligence*, 2015.
- [38] M. Anderson y S. L. Anderson, «GenEth: A general ethical dilemma analyzer,» de *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics*, 2018.
- [39] S. A. Mostafa, M. S. Ahmad y A. Mustapha, «Adjustable autonomy: a systematic literature review,» *Artificial Intelligence Review*, vol. 51, n° 2, pp. 149-186, 2019.
- [40] R. J. Brachman, «Systems that know what they're doing,» *IEEE Intelligent systems*, vol. 17, n° 6, pp. 67-71, 2002.
- [41] M. Ye y G. Hu, «Distributed Nash equilibrium seeking by a consensus based approach,» *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 62, n° 9, pp. 4811-4818, 2017.
- [42] J. D. Greene, S. A. Morelli, K. Lowenberg, L. E. Nystrom y J. D. Cohen, «Cognitive load selectively interferes with utilitarian moral judgment,» *Cognition*, vol. 107, n° 3, pp. 1144-1154, 2008.
- [43] A. W. ruglanski y G. Gigerenzer, «Intuitive and deliberate judgments are based on common principles: Correction to Kruglanski and Gigerenzer,» 2011.
- [44] M. Cristani y E. Burato, «Approximate solutions of moral dilemmas in multiple agent system,» *Knowledge and Information Systems*, vol. 18, n° 2, pp. 157-181, 2009.

INGENIERÍA MECÁNICA - MECATRÓNICA

- IM01 **Thermal analysis in an agitated tank fitted with vertical HDPE radiators used as heat transfer surfaces** IM-3
Rita Aguilar Osorio, Stephen Muhl y Juan Gabriel Barbosa Saldaña
- IM02 **Diseño, construcción y operación de una máquina láser de CNC para la obtención de silicio poroso micromecanizado** IM-14
F. Severiano Carrillo, Juan I. Cruz Vargas, Judith Díaz Domínguez, Javier Palacios López y Javier Flores Méndez
- IM03 **Uso de drones para medición autónoma de factores ambientales en las zonas rurales de Pánuco.** IM-22
Jesús Muñiz Blanco, Samira King Delgado, Armando Hernández Machuca y Carlos Kuri Juárez Suárez
- IM04 **Diseño, fabricación y validación de bobina para calentamiento por inducción de probetas planas.** IM-32
Pablo Alberto Limon Leyva, Antonio de Jesús Balvantin García, Mario Francisco Suzuki Valenzuela y Rafael Alfonso Figueroa Díaz
- IM05 **Análisis comparativo de la transferencia de calor a través de diferentes muros de mampostería** IM-41
Rurik Nahúm Azcanio Hernández, Edgar Vicente Macias Melo, Karla María Aguilar Castro, Iván Alejandro Hernández Pérez y César Augusto de Dios de la Cruz
- IM06 **Estudio térmico-estructural de un Ventilador Recirculador de Gases de un Generador de Vapor** IM-49
Alejandro Ramírez Monroy, Francisco Javier Santander Bastida, Pedro Yáñez Contreras, Roberto Martín Del Campo Vázquez y José Martín Medina Flores
- IM07 **Evaluación del ángulo de orientación de fibra en vigas de material compuesto con diferente sección transversal** IM-57
Jaime Espinoza Hernández, Denison Selene Sánchez Miguel, José Alejandro Amaro Hernández y Oscar Fernández Perez-Tejada
- IM08 **Estudio de la degradación del Nylamid 901 y su efecto en el comportamiento de creep** IM-68
Guillermo Enrique Aguilar Cortes, María Teresa Hernández Sierra, Karla Judith Moreno Bello, Luis Daniel Aguilera Camacho y J. Santos García Miranda
- IM09 **Análisis para la selección del equipo de cocimiento y su instalación en una planta de cocción de vegetales y conservas.** IM-77
Jesús R. Flores, Gabriel A. Pérez, Enrique Bravo, Elizabeth N. Huerta y Alfonso Palacios
- IM10 **Potencial de aplicación de biomasa de residuo forestal como fuente de energía renovable** IM-87
Jorge Bedolla-Hernández, Vicente Flores-Lara, Marcos Bedolla-Hernández, José Michael Cruz García y Efren Sánchez-Flores
- IM11 **Análisis experimental de una estufa solar portable** IM-97
Vicente Flores, Marcos Bedolla, Jorge Bedolla, José Michael Cruz y Juan Carlos Castañeda
- IM12 **Efecto de la geometría de los deflectores en el consumo de potencia de tanques agitados** IM-104
Angel Mendez, Helvio Mollinedo y Sergio Martinez
- IM13 **Análisis Mef de estructura portante-plataforma de horno para tratamiento térmico del tipo rotativo** IM-112
Oscar Ignacio Zavala Martínez, Javier Vladimir Rodríguez Ávalos, Juana Laura Grimaldo Balderas, Concepción Catalina Monasterio Cruz y Juan Compeán Rodríguez

- IM14 **Corte por cizallamiento de una silueta circular bajo condiciones de mínimo y máximo material** IM-120
Pedro De Jesus Garcia Zugasti, Jose De Jesus Navarro Delgado, Enrique Alejandro Vazquez Hernandez y Yolanda Rodriguez Corpus
- IM15 **Calentador solar de agua con almacenamiento integrado** IM-130
Vicente Flores, Jorge Bedolla, Marcos Bedolla, José Michael Cruz y Efren Sanchez
- IM16 **Metodología para automatizar columnas de destilación** IM-139
Moises Avila Lopez, Javier Gomez Rodriguez, Galo Rafael Urrea Garcia, Guillermo Efren Ovando Chacon y Abelardo Rodriguez Leon

Thermal analysis in an agitated tank fitted with vertical HDPE radiators used as heat transfer surfaces

Rita Aguilar-Osorio^{1*}, Stephen Muhl², Juan Gabriel Barbosa-Saldaña¹

¹ Instituto Politécnico Nacional. SEPI ESIME Zacatenco. Edificio 5, 3er. Piso Col. Lindavista, 07738, Ciudad de México. raguilaro@ipn.mx, jbarbosas@ipn.mx

² Universidad Nacional Autónoma de México Instituto de Investigaciones en Materiales. Cd. Universitaria, Ciudad de México. 04510, México. muhl@unam.mx

Área de participación: Ingeniería mecánica

Abstract.

The aim of this research was to analyse the thermal performance of an agitated liquid tank, using as heat transfer surfaces four vertical plastic radiators type heaters made of high-density polyethylene, HDPE, in the form of in-line and staggered tube bundles. The system was tested using a range of water supplies rates between 2000 to 4000 l/h, at a rotation speed of 45, 60 and 100 rpm of the agitator within the tank. The experiments were run at an initial temperature of approximately 22°C and a final temperature of 40°C in the tank. The tank contained water which was heated by the HDPE heaters. The best heat transfer coefficient of 1470 W/m²K was obtained with the in-line tube bundle, at 4000 l/h flow of water and an agitator velocity of 100 rpm, and this was approximately 52% higher compared with the staggered tube bundle.

Keywords: Agitated tank, HDPE heaters, plastic compact heat exchanger, vertical tubes bundle.

Resumen

El propósito de esta investigación fue analizar el comportamiento térmico de un tanque de agitación utilizando como superficies de transferencia de calor 4 radiadores construidos con polietileno de alta densidad, HDPE. Los arreglos de los tubos fueron cuadrangular y triangular. El equipo fue investigado usando un intervalo de flujo de fluido de 2000 a 4000 l/h en los tubos a una velocidad de 100 rpm en el tanque. El trabajo experimental se inició cuando en el tanque se obtuvo una temperatura de aproximadamente 22°C y finalizó cuando se alcanzó una temperatura de 40°C. El fluido fue agua fría, la cual fue calentada con agua caliente que circulaba en los radiadores. El mejor resultado del coeficiente de transferencia de calor se obtuvo con el radiador con arreglo de tubo cuadrangular, siendo el flujo de fluido en el arreglo de tubos de 4000 l/h y la velocidad de 100 rpm en el tanque, este valor fue de 1470 W/m²K, aproximadamente 52% mayor que el obtenido con el arreglo triangular.

Palabras clave: Tanque de agitación, radiador construido con HPDE, intercambiador de calor compacto, arreglo de tubos verticales.

Introduction

In large agitated tanks it is necessary to use heat transfer surfaces inside the systems. The common heat transfer surfaces are jackets and helical, and these have been studied by Oldshue et al. and Ghotli R.A et al. [1-2]. The most widely heat transfer surfaces used in an agitated system is the jacket, where the heat is transferred through the vessel or tank wall. The jacket surface has the fewest variables to analyse and offers advantages related to the initial cost and operation economy. The main limitation is that the heat transfer surface is small for a given tank volume, and adjustment of the jacket area after the tank has been constructed is not possible. Large heat transfer surfaces can be obtained using helical heaters for a given volume of process fluid. However, the coils are generally more costly to construct and more difficult to maintain.

Vertical tube heat transfer surfaces are rarely used. A bank of heater tubes serves as a baffle as well as heat transfer surface. The baffles produce eddy currents in the liquid, which can improve the heat transfer process. On other hand, the baffles provide enough resistance to fluid motion to prevent any vortex formation and can generate large vertical and radial components of flow, which are desired for good mixing.

Petree and Small [3] used vertical plate coils, as a heat transfer surface, and one of the earliest studies of the heat transfer coefficient using vertical heater tube bundles in an agitated tank was carried out by Dunlap and Rushton [4]. The system consisted of a tank 1.22 m diameter and 1.525 m deep. A vertical tube bundle used as the heating area was located in the tank opposite to a vertical tube cooling bundle. In this study a correlation of the heat transfer coefficient for the agitated system was developed. Another work in the literature related to vertical tubes used as heat transfer surface was carried out by Havas et al. [5]. Here the heat transfer correlation developed by Dunlap and Rushton and the Reynolds number expression were modified. Experimental investigation was carried out in order to validate the modified correlation. According to the authors, the experimental data and values predicted using the modified correlations were in reasonable agreement within the range of the heat transfer coefficient used.

Dostál et al. [6] measured the heat transfer coefficients of heater tube baffles using the transient method, when the agitated liquid was periodically heated and cooled by the liquid running through the tube baffles. Solving the enthalpy balance, it was possible to determine the heat transfer coefficient. The results were summarized by the Nusselt number correlations, which describe the dependency on the Reynolds number, and they were compared with other measurements obtained by a steady-state method.

Rosa et al. [7] determined the parameters for the external coefficient of heat transfer in a tank fitted with vertical heater tube baffles, equipped with a turbine type radial-flow impeller with six flat-blade disk turbines. In this study, according to the authors, the predictions of the external coefficient of convection in a steady state flow were satisfactory. The use of a radial impeller in the heat transfer processes with vertical tube baffles resulted in greater heating efficiency compared to the axial impeller. In the publication of Fouad et al. [8] the vertical heater tube array served as a cooler or simultaneously as a cooler and a catalyst support for conducting exothermic diffusion controlled reactions. The mixing process used expensive materials to construct the heat transfer surfaces including steel alloys, galvanised iron alloys, copper-nickel alloys, and titanium. An alternative to reduce the cost of the surfaces for the mixing process was to use plastics. These materials offer the potential advantages of reduced cost and manufacture, resistance to corrosion and fouling, lower friction coefficients, reduced weight, and easy installation.

Some studies carried out by several researchers [9-15] reported that the plastic materials can be used to build industrial heat exchangers for process at low temperature and low pressure. Even though the results were not as good as with metals, their other properties make them competitive in building heat exchangers. The use of plastic for heat exchanger surfaces in applications involving corrosive materials at moderate temperatures has increased. Development of inexpensive plastic heat transfer surfaces for mixing process is a challenge because of the low thermal conductivity of the plastic and the temperature and pressure requirements in hot systems. The main limitation for heat transfer is the low thermal conductivity, which is lower than metals. To obtain reasonable heat transfer performance it is necessary to use very thin walled tubes which, in turn, means that they are only suitable for low pressure use. They can normally be used for heating or cooling fluids from -50°C to 150°C .

The aim of this research was to investigate the heat transfer coefficient on an agitated tank, fitted with vertical tube bundle heaters with in-line or staggered arrangements used as heat transfer surfaces, in order to select the most suitable type of heater for the agitated tank. All the tube bundles were made of high-density polyethylene, HDPE. In addition, corrosion resistance and fouling in the heaters were tested.

Overall Experimental Set up Rig

The main components of the overall experimental rig were the tank containing the HDPE heater and an agitator; the jacketed vessel, the circulation pump, temperature, and pressure measuring devices as it is shown in Fig. 1.

The two working fluids used in this system were hot water and cold water. The hot water was circulated through the heaters in order to heat the cold water in the tank. The hot water was maintained at a constant temperature by means of a jacketed vessel heated with steam. The hot water flowed from the jacketed vessel through a pump to provide sufficient driving force to circulate the hot water through the HDPE heaters. An agitator was used to improve the mixing process and to insure a uniform temperature through the tank.

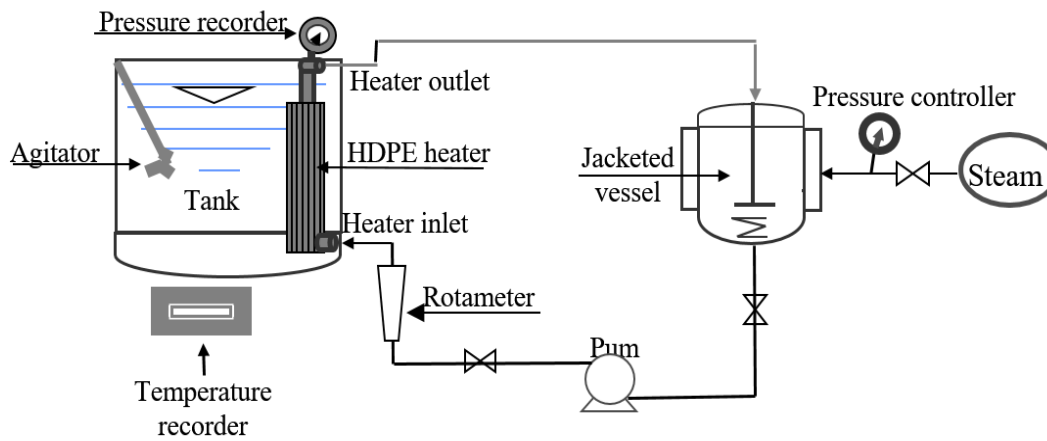


Fig. 1. Schematic diagram of set up rig of the tank with the agitator

Description of the Tank System

The tank system consisted of a cylindrical tank made of polypropylene, PP, had a flat bottom and a free top surface with inside diameter of 1.53 m, and the depth of the fluid was 1.03 m, which was filled with 1880 liters of cold water. The agitator used in this system was an axial three-blade angular off-set impeller with a diameter of 0.5 m, and its shaft was fitted at an off-centre angle to the tank to achieve good top-to-bottom flow and to eliminate swirling. The pitch of the three blades was 45° . The agitator was positioned at 15° from the vertical wall of the tank. The agitator was driven by a three-phase electric motor with an output of 0.55 KW.

HDPE Heaters Type Radiator

The dimension and the geometries of the heaters used in this research as heat transfer surfaces were taken from the research report carried out by R. Aguilar Osorio and Keith Cliffe [16], which were estimated using the standard of the Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA) and several research like Bell Taborek, and Donald Q. Kern, according to the operating conditions of the flow rate and the size of the tank. The heaters can be affected by the water inlet and outlet connection position and the type of the heater. Generally, the tubes arrangements of the tubular heaters are in-line and staggered. In this research was analyzed the thermal behavior of the heaters using both the in-line and staggered arrangements and different inlet and outlet to observe the effect of these arrangements.

The heaters were radiator types constructed with plain tubes. Four heaters with vertical tube bundles were used in the present study as heat transfer surfaces. These also provided a baffling effect for the side flow in the tank and this enhanced the heat transfer. The fluid circulated through the bundle of tubes of the heaters and a rotary motion was generated by the agitator as well as turbulence and the off-set agitator eliminated the need of additional baffles. In addition, the vertical tubes prevented swirl formation and caused both vertical and radial fluid flows, which were desired for good mixing and heating [17].

The heaters were constructed of high-density polyethylene, HDPE. The arrangement was single pass. One of them consisted of 3 rows with 50 vertical tubes in in-line arrangement, the transverse pitch, S_T , was 20 mm and the longitudinal pitch, S_L was 20 mm. The other three heaters consisted of 3 rows of 50, 51 and 51 vertical tubes in a staggered arrangement with transverse pitch was 40 mm and the longitudinal pitch, S_L was 10 mm. The tubes were fixed with the tube ends to the HDPE heaters. The heaters were located 0.3 m from the perimeter of the tank. Table 1 illustrates the characteristics of the heaters.

The mean feature of the HDPE heaters was the thin wall of the tubes which was 0.5 mm. The thermal conductivity of the HDPE is very low between 0.43 – 0.52 W/mK [18], which makes them necessary to use very thin walled of tubes in order to reduce the adverse effect on the heat transfer performance. One of the main

problems of using thin walled tube is that only low pressures can be used on the tube side, in this case, the limit was up to 1.7 bar.

Table 1. Characteristics of the heaters

Parameters		Heater (in-line)	Heater (staggered)
Tube outside diameter	d_o , [m]	0.01	0.01
Transverse pitch	S_T , [m]	0.02	0.04
Longitudinal pitch	S_L , [m]	0.02	0.02
Number of tube rows	N_{tr}	3	3
Number of tubes per row	N_t	50	51, 50, 51
Number of passes	N_p	1	1
Tube length	L_t , [m]	0.65	0.65
Head length	L_h , [m]	1.052	1.052
Heat wide	L_w , [m]	0.062	0.062
Heat deep	L_d , [m]	0.062	0.062
Heat transfer area	A [m ²]	3.02	3.06

Experimental Procedure

The technique and the procedure, for this investigation, were the same in all the tests. The tests were repeated 8 times for each case to obtain sufficient data to compare the results of the heat transfer coefficient in the agitated tank using the heaters with in-line and staggered arrangements.

To investigate the performance of this system several tests were designed as follows: The system was operated at 45, 60 and 100 rpm, the flow rates through the heater were 2000, 3000, 4000 l/h, the experiments were run with an initial temperature of approximately 22°C and a final temperature of 40°C on the tank side, and the temperature in the tube side was 54°C. Temperatures were recorded at the inlet and outlet of the heaters and in the water tank in four different zones. The temperatures in both sides were recorded every 5 minutes for each run with different flow rates, when the temperature was nearly to 40°C on the tank the temperature was recorded every one minute.

The heaters were equipped with a temperature recorder linked to two nickel-chromium/nickel-aluminium (type K) thermocouples, which were fitted at the inlet and outlet nozzles of the heater. The temperature of the water in the tank was measured with digital thermometers. The temperature measurements were accurate within $\pm 0.01^\circ\text{C}$. The flow rate on the heater was measured using a rotameter. The heaters were tested for both upward and downward flows to analyse the influence of the inlet and outlet on the system, including four cases. The inlets and outlets fixed for this investigation are shown in Fig. 2.

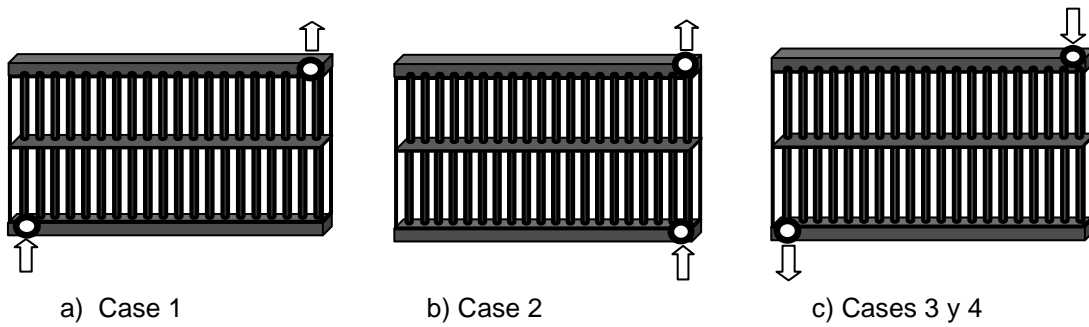


Fig. 2. Schematic diagram of the heaters with different inlet and outlet

- Case 1. Inlet at the bottom left hand side and the outlet at the top right hand side (staggered).
- Case 2. Inlet at the bottom right hand side and the outlet to the top right hand side (staggered).
- Case 3. Inlet at the top right hand side and the outlet at the bottom left hand side (staggered).
- Case 4. Inlet at the top right hand side and the outlet at the bottom left hand side (in-line).

Leakage is a problem in plastic heat exchangers because it is difficult to seal de components. To check leaks in the HPDE heaters a red dye was injected on the tube side during the runs. The properties of the water in the tank side and in the tube side are presented in Table 2.

Table 2. Physical properties of the hot and cold water [19,20, 21]

Physical properties of the water				
Parameter			Hot water	Cold water water
Density,	[kg/m ³]	ρ	988.03	995.65
Viscosity,	[Ns/m ²]	μ	0.000465	0.000798
Heat capacity,	[J/kg K]	C_p	4180.6	4178.4
Thermal conductivity, [W/m K]		k	0.06435	0.6154

Experimental Calculations

The heat transfer coefficient inside of the tubes of the heaters, h_i , was calculated by [22]:

$$Nu = \frac{h_i d_i}{k_t} = 0.026 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad (1)$$

Were Nu : is the Nusselt number, d_i : is the inside tube diameter, k : is the thermal conductivity, Re : is the Reynolds number, and Pr : is the Prandtl number.

The Reynolds number on the tube side was estimated using the next equation:

$$Re = \frac{\rho u d_i}{\mu} \quad (2)$$

Where ρ : is the density of the water, u : is the flow Velocity on the tube side, d_i : is the inside tube diameter, and μ : is the kinematic viscosity of the water.

The velocity was determined by:

$$u = \frac{\dot{V}}{A_p} \quad (3)$$

\dot{V} : is the volumetric flow rate in the tube side, A_p : is the one pass area. The one pass area, A_p , was obtained by:

$$A_p = \frac{\pi d_i^2}{4} \left(\frac{N_t}{N_p} \right) \quad (4)$$

d_i : is the inside tube diameter, N_t : number of tubes per row, N_p : number of passes

The overall heat transfer coefficient from the experiments was determined as follows:

The heat flow, Q , [23], between the hot water and tube wall was calculated by means of the inlet temperature, T_1 , and outlet temperature, T_2 , the mass flow rates measured, \dot{M} , and the heat capacity, C_p , as follows:

$$Q = \dot{M} C_p (T_1 - T_2) \quad (5)$$

Heat transfer in agitated tanks is an industrial operation whose performance depends on the characteristics of the agitator and the heat transfer surface. To predict the heat transfer rates in agitated tanks the following factors must be considered, the geometry of the system, type of agitator, the physical properties of the fluid and the transfer area. Process heat transfer in agitated tanks depends on a temperature difference between the heat transfer fluid and the process fluid, ΔT , the heat transfer area, A , and the overall heat transfer coefficient, U . This relationship represents the known heat transfer equation:

$$Q = UA\Delta T \quad (6)$$

This equation was applied when the tank and the heat transfer surface are operated continuously under constant conditions.

In this mixing and heating process the operation was batch and its solution involves unsteady state so the overall heat transfer coefficient is determined from the initial and final temperatures and the time taken to heat the water in the tank.

The heating time to raise the temperature from approximately 22 to 40°C on the tank side was recorded during the experimental runs, which are shown in Table 3.

If the heat transferred is dQ in time dt , then:

$$\frac{dQ}{dt} = \dot{M} C_p \frac{dT}{dt} \quad (7)$$

dT/dt : is the rate of change of temperature of the batch with time. \dot{M} : is the mass of the water in the tank, C_p : heat capacity

From a heat balance over the tank in an amount of time dt :

$$\dot{M} C_p \frac{dT}{dt} = UA\Delta T \quad (8)$$

If the water temperature in the heater is assumed, T_{heater} then;

$$\int \frac{dT}{(T_{heater} - T)} = \frac{UA}{\dot{M} C_p} \int dt$$

Integrating:

$$\ln\left(\frac{T_{heater} - T_1}{T_{heater} - T_2}\right) = \frac{UA}{\dot{M} C_p} t$$

Therefore, U is expressed by:

$$U = \frac{\dot{M} C_p}{At} \ln\left(\frac{T_{heater} - T_1}{T_{heater} - T_2}\right) \quad (9)$$

The transfer coefficient at the external tube bundle of the heater (on the tank side), h_o , was calculated by,

$$\frac{1}{h_o} = \frac{1}{U} - \frac{1}{h_i} - \frac{\delta}{K_t} \quad (10)$$

Where δ : is the thickness of the tubes with 0.4 mm and K_t : is the thermal conductivity of the HDPE of 0.52 W/mK [17].

It was assumed that fouling was negligible. This is because, the smooth surface of HDPE, have low fouling factors.

The Reynolds number on the tank side was predicted using the next expression [24]:

$$Re = \frac{NDa^2 \rho}{\mu} \quad (11)$$

Where N : is the agitator rotational speed, D_a : is the impeller diameter.

Results and Discussion

Table 3 shows the experimental results of the agitated tank fitted with heaters with in-line and staggered tube bundle arrangements using a flow rate of 2000, 3000 and 4000 l/h at 100 rpm in the tank. Different inlets and outlets were investigated for each case. The results for all the arrangements showed that the heat transfer coefficient increased with flow rate. This is thought to be consequence of increase turbulent within the tube arrangements as indicated by the increased Reynolds number.

From the testes it was observed that the best distribution of the fluid of the heaters was obtained with inlet at the top right-hand side and the outlet at the bottom left hand side. According to this finding, this position of the inlet and outlet was used for the heater with inline arrangement. Due to this, a comparison of the thermal behaviour was made of the heaters with in-line and staggered arrangements using the inlet at the top right-hand side and the outlet at the bottom left hand side, using the flow rate of 4000 l/h (case3 and case 4).

From the experimental results, show in Table 3, it can be observed a good agreement of the heat transfer coefficient in the tank side using three heaters with staggered tube bundles (cases 1 and 3). Case 2 showed a more variability of the heat transfer coefficient. At higher flow rate of 4000 l/h the heat transfer coefficient was approximately 34% higher than de other two cases. However, the inverse was demonstrated at lower flow rate. This is because at lower flow rate, pressure is less effective in driving water through the entire tube bundle and hence, the more remote tubes (those to the left-hand side of the heater) are bypassed. This suggests that the entrances and the outlets of the fluid in the heaters affect the thermal performance of the agitated tank in case 2 at lower flow rate.

While the heat transfer coefficient using a heater with in-line tube bundle (case 4), showed a greater heat transfer coefficient than the case 1 and case 3. This is because as the fluid circulates through the tube bundle, in-line tube bundle involved flow contraction and flow expansion by the bifurcation of the fluid due of the direction of flow impacting on the tubes, as it can be seen in Fig. 3, and hence, the area around the tube bundle was highly turbulence and higher heat transfer was obtained. Therefore, the overall heat transfer coefficient was greater from 14% to 23%.

The results of the heat transfer coefficient on the tank side using the overall heat transfer coefficient obtained with the heater with in-line tube bundle was greater from 34% to 52% in comparison with staggered tube bundle (case 1 and case 3), which provided a strong bypass stream between the tubes, the pressure was less effective in driving water along the tube bundle and hence the heating time was greater. The heating time was reduced in comparison of the staggered tube bundle. The heating time and power consumption were very important parameters on the heating performance.

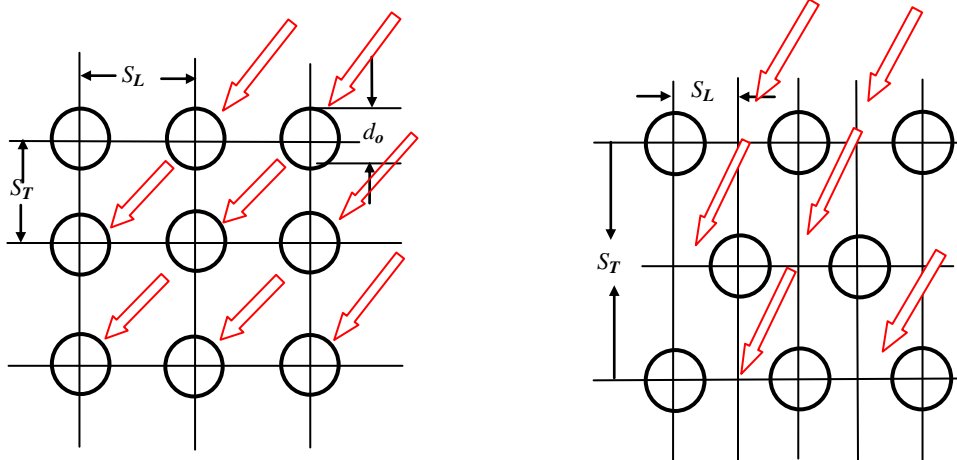


Fig. 3. Tube bundle arrangements: a) in-line and b) staggered

Table 3. Results of the agitated tank fitted with heaters in staggered an in-line tube bundle

Flow rate l/h	Re (tube)	Re(tank)	Heating Time, Sec	U W/m ² K	h _i W/m ² K	h _o W/m ² K
Case 1. Staggered- inlet at the bottom left-hand side and the outlet to the top right hand side						
2000	1094	499468	8443	255.0	700	663
3000	1641	499468	7425	290.0	968	698
4000	2188	499468	6771	318.0	1219	745
Case 2. Staggered- inlet at the bottom right hand side and the outlet to the top right hand side						
2000	1094	499468	10253	210.0	700	427
3000	1641	499468	7146	301.3	968	766
4000	2188	499468	6389	337.0	1219	856
Case 3. Staggered- inlet at the top right hand side and the outlet to the bottom left hand side						
2000	1094	499468	8544	252.0	700.0	641
3000	1641	499468	7526	286.1	968.0	675
4000	2188	499468	6946	310.0	1219.0	700
Case 4. In-line - inlet at the top right hand side and the outlet at the bottom left hand side						
2000	1109	499468	7374	292.0	707.0	971
3000	1663	499468	6065	355.0	978.0	1228
4000	2217	499468	5329	404.0	1232.0	1470

From the results, it can be observed that the best result of the heat transfer coefficient in the agitated tank was obtained using the heater with in-line tube bundle with 4000 l/h flow rate in the tube side at 100 rpm on the tank side, which is 52% highest than staggered tube bundle.

Fig. 4 shows the behaviour of the heat transfer coefficient as a function of the flow rate of the four heaters, using a range of flow rate of 2000, 3000 and 4000 l/h at 100 rpm. From the plot can be observed a higher heat transfer performance on the tank side fixed with the in-line arrangement, which is considerably higher of those three staggered arrangements, which is due to the fluid impinging on the tube at an angle.

Due to the advantages in heat transfer performance for the in-line tube bundle, the heater with this tube bundle is the most suitable for the agitated tank analysed in this research. In both heater designs, the experimental data shows that the heat transfer coefficient increased with the flow rates. This was as consequence of increasing turbulence of the tube bundles.

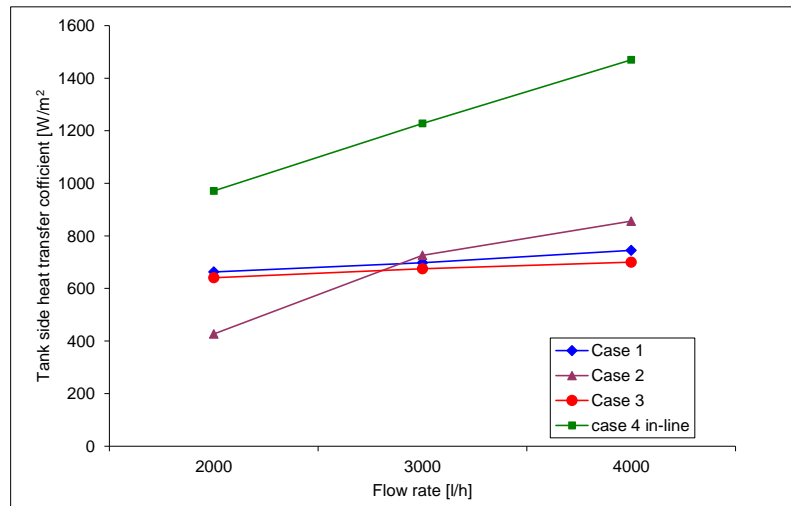


Fig. 4. Flow rate as a function of the heat transfer coefficient for staggered and in-line arrangements

Injection dye into the tube side showed that no leakage occurred in this investigation from the heater to the tank. This problem was overcome by sealing very carefully the components of the heaters, a HPDE leak-proof seal was formed around them to ensure no leakage occurred.

The heaters were investigated for eight months, during this time it was observed a good corrosion resistance and no formation of deposit was presented. This is because, HDPE exhibits a good machinability, as a consequence a very smooth surface was attained, due to this the tubes allowed a slight possibility of formation of deposits.

The objective of mixing is homogenization, which reduces concentration and temperature gradients within the agitated system. From this investigation it was observed that mixing depends on the velocity of the flow, the viscosity of the fluid, and the geometrical arrangement of the space through which the fluid passes. The mixing process has a wide range of applications in the food, pharmaceutical, and paper industries, electrolysis, heating and cooling, heterogeneous chemical reaction, and others.

Future work

To extend the flow rate to investigate all the potential of the agitated system. To measure the temperature between tube passes to validate the heat transfer coefficient for each tube pass and compare with the theoretical predictions. To measure the velocity of the flow rate on the tube side to validate the theoretical prediction.

Conclusion

The thermal performance of an agitated tank was investigated using heaters with in-line and staggered tube bundle arrangements as heat transfer surfaces, and it was found that with the in-line tube bundle the best heat transfer coefficient was obtained with a flow rate of 4000 l/h at 100 rpm on the tank side, which was approximately 52% higher than the staggered arrangement. Therefore, the heater with in-line tube bundle was more suitable for the agitated tank analysed in this research. Injection of dye into the tube side showed that no leakage occurred from the heater to the tank. This problem was overcome by sealing very carefully the components of the heaters. The heaters were investigated for eight months, during this time it was observed a good corrosion resistance and no formation of deposit was presented. From this research it was observed that HDPE and PP materials are a potential alternative to construct heaters for mixing and heating processes, instead of metal alloys, due to the numerous advantages, for processes at low temperature and low pressure. They have lower cost, higher corrosion resistance, low fouling, and lighter weight.

Acknowledgement

The authors wish to thank to the Instituto Politécnico Nacional of Mexico for the support received for this project.

References

- [1] J.Y. Oldshue, Fluid mixing technology and practice. Chemical Engineering, vol.13, pp.83-105. 1983.
- [2] R. A. Ghotli, A.A.A: Raman, I. Ibrahim, B. Saeid, Liquid-liquid mixing in stirred vessels: A review. Chem. Eng. Comm. 200, pp. 595-627, 2013.
- [3] D.K. Petree, V.M. Small, Heat transfer and power consumption for agitated tank vessel with vertical plate coils. AIChE Symposium Series 174-74, pp. 53-59. 1978.
- [4] I.R. Dunlap, J.H. Rushton, Heat transfer coefficients in liquid mixing using vertical tube baffles. Heat Transfer, pp. 37-150, 1953.
- [5] G.A. Havas, A. Deak, J. Sawinsky, Heat transfer coefficient in an agitated vessel using vertical tube baffles. Chemical Engineering Journal, vol. 23, pp. 161-165. 1982
- [6] M. Dostál, K. Petera, F. Rieger, Measurement of heat transfer coefficients in an agitated vessel with tube baffles. Acta Polytechnica, 50-2, pp. 46-57. 2010.
- [7] V.S. Rosa, M. Moraes, J.T.C.L Tonelli, D. Moraes Junior, External heat transfer coefficient in agitated vessels using a radial impeller and vertical tube baffles. Industrial & Engineering Chemistry Reseach. 53-35, pp. 13797-13803. 2014.
- [8] Y. O Fouad, G.F. Malash, A.A. Zatout, G.H. Sedahmed, Mass and heat transfer at an array of vertical tubes in a square stirred tank reactor. Chemical Engineering Research and Design, 9-1, pp. 234–243. 2013.
- [9] L.J. Van, S. Charlier, Heat Exchanger Made of Fluorinated Thermoplastics. Plastic Seminar. Dallas, USA. (1983).
- [10] P. Bandelier, L. Fernand, Plastic heat exchangers. Materiaux and techniques, 9-10, pp. 67-70, 1992.
- [11] B.E. Baigaliev, R.M. Salakhutdinov, Mathematical model of a plastic tubular exchanger. Journal of Engineering Physics, 243-247, 1991.
- [12] H.G. Robdorf, Kunststoffe Plast Europe, pp. 23-25, 1994.
- [13] R. Aguilar-Osorio, K. Cliffe, Numerical simulation of heat losses between a partition plate and the wall of the head of a plastic heat exchanger. Trans Tech Publication. Defect and Diffusion Forum, pp. 297-301, 2010.
- [14] R. Aguilar-Osorio, K. Cliffe, Experimental and theoretical research of the shell side heat transfer coefficient and pressure drop in a plastic shell and tube heat. Trans Tech Publication. Defect and Diffusion Forum, pp. 650-655, 2011.
- [15] J. Bart, and Igor Krupa. "Thermally Conductive Polyethylene/Expanded. Graphite Composites as Heat Transfer Surface: Mechanical, Thermo-Physical and Surface Behavior," *Polymers*, vol. 12, no. 2863, pp. 1-19, 2020.
- [16] R. Aguilar-Osorio, K. Cliffe. Mechanical desing of agitated tank and HDPE radiators. Research report. México. 2016.
- [17] AIChE. Equipment Testing Procedure Mixing Equipment (impeller type). Third Edition, 2001.
- [18] Technical Manual AKATHERM-KMF B.V.1997.
- [19] R. Perry, Chemical Engineer's Handbook, seventh ed., McGraw-Hill, New York, 1997.
- [20] E. Schmidt, Properties of water and steam in SI-Units, Springer, 1981.
- [21] J.K. Venard, R.L. Street, Elementary Fluid Mechanics, fifth ed., Wiley, New York, 1975.
- [22] ESDU INTERNATIONAL. Forced Convection Heat Transfer in Straight Tubes, Part. Turbulent Flow. Item No. 92003,1992.
- [23] G.F. Hewitt, G.L.Shires, T.R. Bott, Process Heat Transfer, first ed.,CRC Press LLc, USA, pp. 937-951.1994.
- [24] N.P. Chermisinoff, Handbook of Chemical Processing Equipment. Butterworth-Heinemann, USA, 2000.

Diseño, construcción y operación de una máquina láser de CNC para la obtención de silicio poroso micromecanizado

F. Severiano Carrillo¹, Juan I. Cruz Vargas², Judith Díaz Domínguez³, Javier Palacios López³, J. Flores Méndez^{2,4}

¹ CONACYT, Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor, Del. Benito Juárez, Cd. de México C.P. 03940, México; fseveriano@conacyt.mx

² Tecnológico Nacional de México/I.T. Puebla, Av. Tecnológico No. 420, Maravillas, Puebla C.P. 72220, México; inosencio.cruz@puebla.tecnm.mx, javier.flores@puebla.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México/I.T. Apizaco, Carretera Apizaco Tzompantepec, esquina con Av. Instituto Tecnológico S/N, Conurbado Apizaco - Tzompantepec, Tlaxcala C.P. 90491, México; mecanica@apizaco.tecnm.mx, javpl_33@hotmail.com

⁴ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Blvd. Valsequillo y Esquina, Av. San Claudio s/n, Col. San Manuel, Puebla C.P. 72570, Mexico

Área de participación: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica

Resumen

En este trabajo se presenta evidencia referente al diseño, construcción y operación de una máquina láser de control numérico computarizado (CNC) para obtener silicio poroso micromecanizado en una escala de micras. Analizando el funcionamiento básico, la configuración del hardware, el modo de programación y adicionalmente la calidad de las muestras obtenidas. En operación este prototipo fue capaz de micromecanizar con éxito silicio poroso, el cual se obtiene a partir de obleas de silicio cristalino; mostrando la capacidad de utilizar este tipo de tecnología en la técnica del fotograbado (método utilizado para la obtención de estructuras porosas a base de silicio). Utilizando muestras porosas ya existentes en el laboratorio de Materiales Avanzados de Ingeniería Mecánica, se presentan algunos ejemplos de precisión y rendimiento observando la posibilidad de mecanizar el silicio poroso a una escala de micras.

Palabras clave: Silicio Poroso, CNC, Micromecanizado, Fotograbado.

Abstract

This paper presents evidence regarding the design, construction and operation of a computerized numerical control (CNC) laser machine to obtain micromachined porous silicon on a micron scale. Analyzing the basic operation, the hardware configuration, the programming mode and additionally the quality of the samples obtained. In operation, this prototype was able to successfully micromachine porous silicon, which is obtained from crystalline silicon wafers; showing the ability to use this type of technology in the photoengraving technique (a method used to obtain silicon-based porous structures). Using existing porous samples in the Mechanical Engineering Advanced Materials laboratory, some examples of precision and performance are presented looking at the possibility of machining porous silicon at the micron scale.

Key words: Porous Silicon, CNC, Micromachining, Photoengraving.

Introducción

El silicio poroso (PS) es una forma de silicio que se prepara principalmente con grabado anódico a partir de obleas de silicio cristalino. El PS es un material muy prometedor por su potencial de aplicación en diferentes campos científicos y tecnológicos. Esto se debe a sus interesantes propiedades ópticas (luminiscencia a temperatura ambiente), eléctricas (cambio de resistividad) y químicas (alta reactividad). Estas estructuras porosas son excelentes candidatas para obtener dispositivos en los campos de la optoelectrónica [1], sensores biológicos [2], biomedicina [3] y, más recientemente, en nanofabricación [4]. El método principal para obtener PS es con

anodización usando una solución ácida hecha de ácido fluorhídrico y etanol. Las características de la capa porosa (porosidad, diámetro de poro, longitud de poro) se pueden controlar con los parámetros de grabado (densidad de corriente y duración de anodización). Debido a su alto potencial en diversas aplicaciones, es importante desarrollar nuevos métodos para obtener PS que también puedan controlar las propiedades de las estructuras porosas. Una alternativa podría ser un método conocido como fotograbado, que utiliza una lámpara [5] o un láser [6] para grabar la superficie de silicio cristalino. Si se utiliza un láser, es necesario equiparlo con sistemas que permitan el movimiento en diferentes direcciones según la zona a cubrir, ya que el diámetro del rayo láser está en micras. El control numérico por computadora (CNC) es un sistema muy útil que permite al usuario controlar el movimiento de piezas mecánicas y herramientas con datos numéricos [7]. El objetivo de una máquina CNC es realizar diferentes tareas de mecanizado con datos numéricos, también conocidos como códigos G. Aunque esta técnica está muy documentada en aplicaciones industriales, existe una falta de información de este tipo de tecnologías (CNC y láseres de fotodiodo), aplicadas en ciencia básica, en concreto en el desarrollo de estructuras porosas basadas en silicio. Este reporte informa sobre el diseño, la construcción y el rendimiento de una máquina CNC utilizada para obtener muestras de PS. El diseño y construcción de este proyecto integrador se detallan a lo largo de este estudio. Así mismo, el rendimiento de la máquina CNC se demuestra con el análisis de las muestras de PS obtenidas.

Metodología

1. Diseño y montaje del sistema

La máquina construida como proyecto integrador de la materia Instrumentación y Control está diseñada para obtener silicio poroso (PS) a partir de obleas de silicio cristalino de diferentes geometrías. La máquina incluye dos direcciones lineales con movimientos de los ejes X y Y. El software Laser GRBL se utiliza para controlar los parámetros de movimiento de los ejes. La máquina CNC se construyó en tres etapas: 1) Diseño e impresión 3D de componentes; 2) Montaje y ensamblado de componentes; 3) Instalación de software de control. El diseño de piezas 3D se realizó con CATIA V5R19. Los componentes principales utilizados para construir la máquina son: motores paso a paso NEMA 17, b) placa de control de 2 ejes y una tarjeta digital de control (Arduino), c) placa de control láser, d) piezas impresas en 3D, e) varillas de soporte de acero, f) varillas roscadas de acero inoxidable (M5). El láser utilizado para construir la máquina fue un láser de fotodiodo con 500 mW de potencia nominal. El desplazamiento máximo de movimiento en cada eje es de 3 cm (cubriendo un área de 9 cm²). Para estudiar la morfología del PS, se obtuvieron imágenes de un microscopio electrónico de barrido (SEM) modelo Hitachi SU3500. El diámetro de los poros, dimensiones y características del micromecanizado se estimó utilizando el software ImageJ, que es un programa de procesamiento de imágenes para análisis científico. Usando este software se analizaron las imágenes de microscopía electrónica de barrido.

2. Diseño e implementación del sistema

La estructura de los ejes de la máquina CNC es una combinación de piezas impresas en 3D y varillas de acero para dar soporte a la estructura. Para imprimir las piezas en 3D se utilizó un filamento PLA. Los parámetros utilizados para imprimir fueron una altura de capa de 0.1 mm, grosor de carcasa de 1.2 mm, grosor inferior/superior de 1 mm, densidad de relleno del 100%, velocidad de impresión de 50 mm/s, temperatura de impresión de 200 °C y temperatura en la base de impresión de 55 °C. La impresora 3D utilizada fue una impresora U-PRINT PLUS con un diámetro de boquilla de 0.4 mm con retracción habilitada. Cada eje está conformado por cuatro piezas impresas en 3D, una base, tres guías (misma pieza) y tres varillas de soporte de acero para dar estabilidad a la estructura. La varilla roscada de acero inoxidable (M5) tiene la función de transmitir el movimiento de rotación del motor, el acoplamiento del eje del motor a esta varilla se manufacturo también por impresión 3D. Las piezas se muestran en la Figura 2.

Todas las piezas se ensamblaron con tornillos y tuercas. La transmisión de movimiento con varilla roscada de acero inoxidable (M5) garantiza un movimiento lineal de mayor precisión en el sistema, respecto a la transmisión por correa. Los motores paso a paso NEMA 17 son una excelente opción para proporcionar un movimiento preciso y un par elevado. Por lo tanto, este tipo de motores fueron la mejor opción para construir la máquina CNC. La disposición principal de la máquina es en forma de "L" donde el eje X se mueve en una dirección y el movimiento del eje Y comienza sobre el eje X. La configuración de cada eje se muestra en la Figura 3. Se eligió este tipo de estructura porque proporciona una máxima cantidad de espacio de trabajo. El láser utilizado es un láser de diodo de 500 mW, que se monta sobre el eje Y. Los motores paso a paso utilizados (NEMA 17) funcionan con una tensión nominal de 12 voltios y una corriente nominal de 0.4 amperios.



Figura 2. Vista artística de las piezas utilizadas para construir el eje de la máquina CNC.

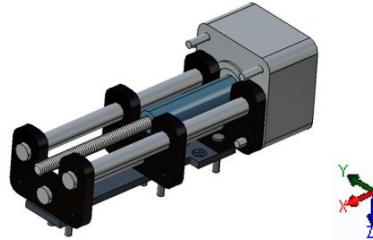


Figura 3. Disposición de cada eje de la máquina diseñada.

Una vez construidos los ejes, se montaron con la ayuda de carros (ver Figura 4). Dos de las tres varillas de acero funcionan para soportar el carro y también actúan como guía lineal. Los carros tienen cuatro orificios perforados en su superficie superior para soportar otro componente. En el caso del eje X (Figura 4a), el carro soporta el eje Y, y el carro del eje Y soporta el láser con la ayuda de una pieza impresa en 3D en forma de "L" (Figura 4b). La transmisión del movimiento rotacional del motor paso a paso se realizó con la ayuda de una tuerca, la cual fue fijada a los carros como se muestra en la Figura 4. La tuerca está en contacto con la varilla roscada de acero y de esta manera el movimiento de rotación del motor se vuelve lineal.

El software utilizado para el control de la máquina fue Laser GRBL, un programa libre de control CNC que se actualiza constantemente y se puede utilizar en un ambiente de 64 y 32 bits. Por lo tanto, el software Laser GRBL nos permitirá controlar el prototipo de la máquina CNC de 2 ejes, así como, la potencia del láser. La modulación de la potencia del láser, es mediante el puerto de salida PWM/TTL de la tarjeta digital Arduino (nano) PWM, en este caso pin 11. Para el control de los motores paso a paso, se utilizó una placa de construcción para máquinas CNC, acoplada a la tarjeta digital de control con el software Laser GRBL. Este software también permite convertir cualquier archivo de imagen en códigos G automáticamente, además el usuario puede editar o introducir tales códigos para reestructurar operaciones de CNC. La Figura 5a) muestra el diagrama de conexión utilizado para la máquina CNC que se desarrolló y la Figura 5b) muestra el diagrama de control de la máquina CNC.

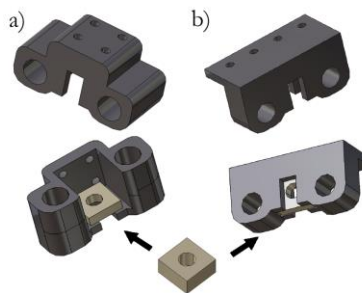


Figura 4. Carros utilizados para unir los ejes en la estructura de la máquina CNC. a) Carro del eje X utilizado para soportar el eje Y. b) El carro del eje Y soporta el diodo láser.

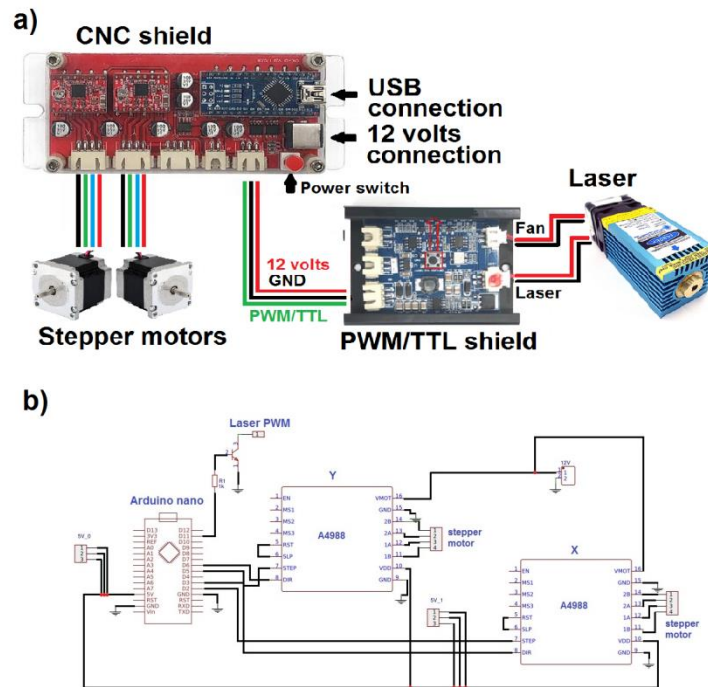


Figura 5. a) Diagrama esquemático que muestra la tarjeta electrónica y las conexiones utilizadas para construir la máquina CNC. b) Diagrama de control de la máquina CNC.

3. Dispositivos y software aplicado

Como ya se mencionó, la máquina CNC desarrollada en esta práctica está compuesta por piezas impresas en 3D, varillas de acero, motores paso a paso, varillas roscadas de acero inoxidable y un diodo láser de 500 mW. El control de los motores paso a paso y del diodo láser se realizó con tarjeta electrónicas PWM/TTL y CNC. El software Láser GRBL se utiliza para programar el movimiento de los motores paso a paso y para controlar la potencia del láser utilizada para el grabado del PS. Las principales características del motor paso a paso NEMA 17 utilizado en este estudio se resumen en la Tabla 1. La varilla roscada de acero inoxidable tiene un tamaño de rosca M5 con un paso normal de 0.8 mm (800 μ m), esto permite definir la precisión del prototipo CNC construido. La precisión puede mejorar simplemente cambiando la varilla roscada de acero inoxidable a un tamaño métrico más pequeño. Otra opción es reemplazar el motor paso a paso NEMA 17 por otro de menor avance.

Tabla 1. Características del motor paso a paso.

Precisión de paso	± 5
Max. fuerza radial	28N
Max. fuerza axial	10N
Avance	3.6 grado/paso

4. Resultados y discusión

La Figura 6 muestra el prototipo CNC completamente ensamblado, incluido el láser y las bases que sostienen la máquina. El equilibrio de los ejes se obtiene con el peso de los motores paso a paso y las varillas de acero. El área de silicio cristalino (c-Si) que el láser puede micromaquinar es de 3 cm x 3 cm (9 cm²). En comparación con el método más común de obtención de PS (anodización) donde el área común obtenida es circular y el diámetro es de algunos centímetros, dentro del área de trabajo de la máquina CNC desarrollada (9 cm²) es posible obtener cualquier patrón o área definida por el código G. Otro punto a destacar en este tipo de método es la libertad de seleccionar el área de silicio cristalino utilizado, lo que permite optimizar el material.

5. Micromecanizado: Prueba de rendimiento del Maquinado CNC

En esta sección se muestran los diferentes ejemplos de micromecanizado de PS obtenidos por el dispositivo CNC diseñado en esta práctica por los estudiantes. La Figura 7 muestra los puntos láser obtenidos con diferentes potencias y tiempos. Las características del c-Si utilizado fueron del tipo-n, con orientación (100), con 1-5 ohm-centímetros de resistividad y dopado con fósforo; la preparación de dichas muestras forma parte de

las prácticas correspondientes de las materias de Ingeniería y Tecnología de Materiales. La fuente de iluminación es un láser con una longitud de onda de 405 nm y potencia nominal de 500 mW con control de potencia. Como prueba inicial de micromecanizado se obtuvieron diferentes diámetros de punto de trabajo, la primera prueba consistió para un tiempo de 15 minutos utilizando diferentes potencias (100%, 85%, 70%, 55%). Posteriormente, se exploró para una potencia del 100% a diferentes tiempos (de 1 a 4 minutos).

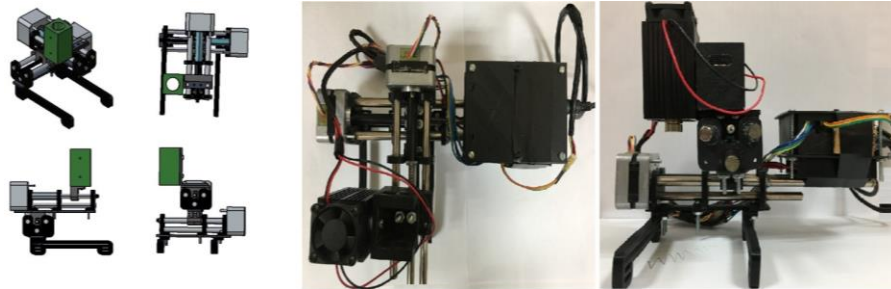


Figura 6. Vistas isométrica, lateral y superior de la máquina láser CNC diseñada en CATIA V5R19. El lado derecho muestra la máquina CNC construida.

Con el uso del microscopio electrónico de barrido se realizó una caracterización morfológica básica de las estructuras porosas micromecanizadas. El aumento utilizado para comparar los puntos láser fue 300X. En la Figura 7 se muestran las imágenes SEM obtenidas, los puntos observados en la columna izquierda fueron los obtenidos con diferentes potencias láser (100%, 85%, 70%, 55%) y al mismo tiempo (15 minutos). La columna de la derecha muestra los puntos obtenidos con la misma potencia láser (100%) y diferentes tiempos (1-4 minutos). La Tabla 2 muestra las características de los puntos obtenidos.

Tabla 2. Diámetro del punto láser.

Diámetro del Punto láser (μm) Tiempo: 15 min. Potencia: 100%,85%,70%,55%.	Diámetro del Punto láser (μm) Potencia: 100%. Tiempo: 1,2,3,4 mins.
190	110
173	113
153	114
135	110

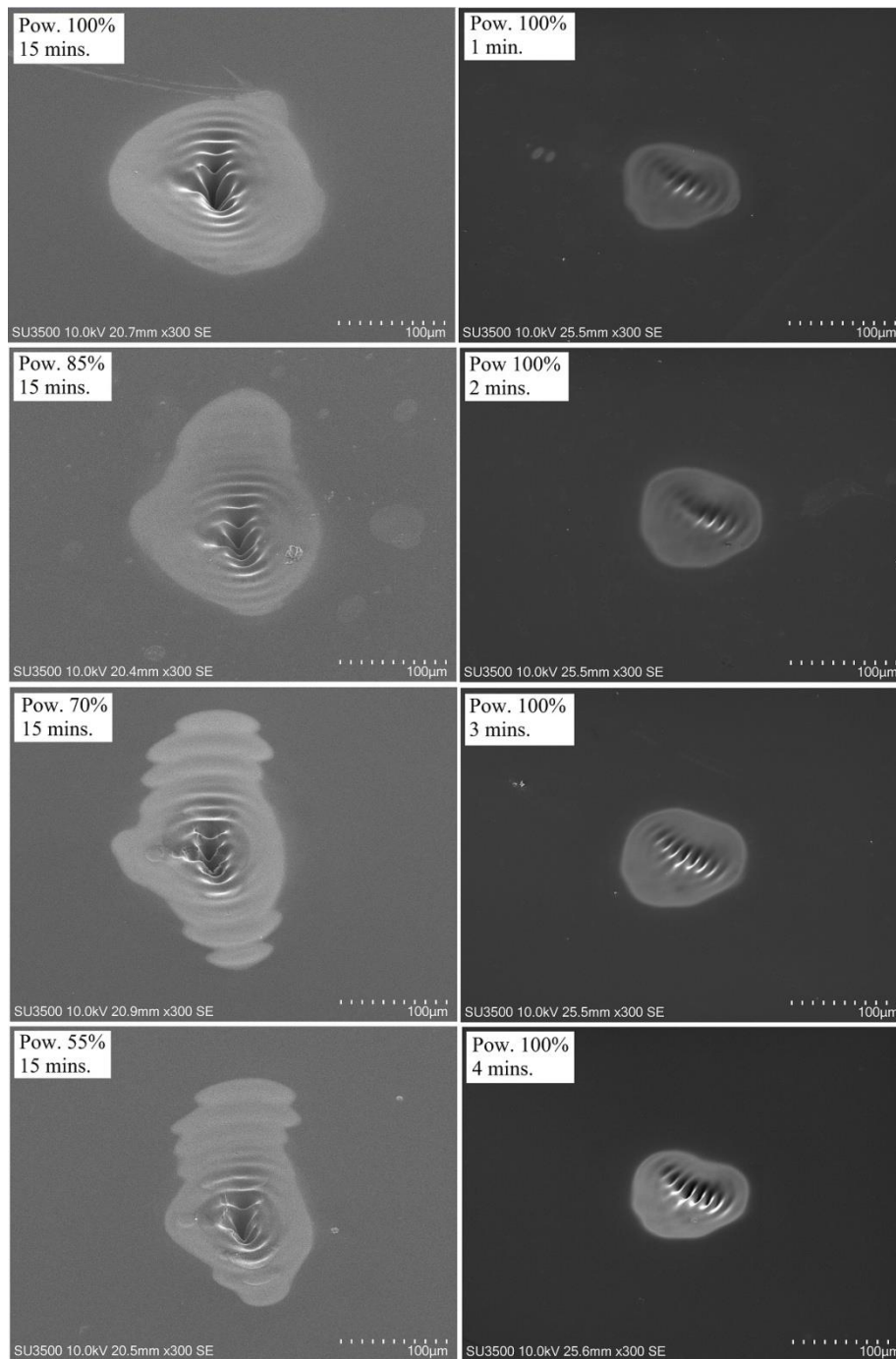


Figura 7. Imágenes SEM utilizadas para analizar el diámetro del punto láser.

La segunda prueba de funcionalidad del prototipo CNC consistió en el micromecanizado de patrones de trayectorias en Zig-Zag, para un solo paso y tres pasos. Las condiciones generales de trabajo fueron: i) Potencia del láser: 100%, ii) Velocidad (F):10, iii) Repeticiones (Pasos): 1 y 3. La velocidad descrita por F=10 corresponde a 14 µm/s.

En la Figura 8 se muestran las imágenes SEM de los patrones de micromecanizado obtenidos con 100% de potencia láser. El patrón de la izquierda se adquirió en un paso y de la derecha se adquirió en tres pasos. Cabe señalar, que cualquier tipo de patrón de micromecanizado se obtiene con el uso de un programa CNC (códigos G). Las dimensiones del patrón son 2381µm × 2580µm (izquierda) y 2400µm × 2400µm (derecha). El grosor de cada línea es de alrededor de 110µm (diámetro de la punta del láser). En la parte inferior de la imagen se muestran los enfoques superficiales obtenidos por SEM de los micromecanizados. Un aumento en el tamaño

de los poros es claramente observable con un aumento en los pasos utilizados para micromaqueinado. La imagen confirma la formación de PS mientras se mueve el punto láser, así como la modificación del diámetro de los poros.

La muestra obtenida con un paso tiene un diámetro de poro promedio de 50-90 nm, mientras que la muestra de 3 pasos tiene un promedio de 140-250 nm. Otra observación importante es la precisión de la máquina CNC, incluso cuando el micromaqueinado se obtuvo en tres pasos, el patrón es claramente visible. Esto abre la posibilidad de obtener diferentes niveles de micromaqueinado y porosidad repitiendo el proceso n-veces. Estos resultados demuestran la correcta formación de una capa porosa y abre la posibilidad de utilizar este método para obtener PS con patrones definidos, teniendo en cuenta las propiedades de las estructuras porosas, así como el cambio de resistividad, reactividad química y propiedades ópticas.

El análisis de los diseños muestra que esta máquina es capaz de obtener estructuras porosas en el interior de cualquier diseño del orden de micras, pudiendo también controlarse el diámetro de poro y las propiedades. Este tipo de estructura se puede utilizar para el desarrollo de biosensores y dispositivos optoelectrónicos y biomédicos. La capacidad de esta máquina para controlar la potencia del láser permite controlar las características del PS (porosidad y espesor) y la configuración de los motores paso a paso permite controlar la zona de anodización (micromaqueinado).

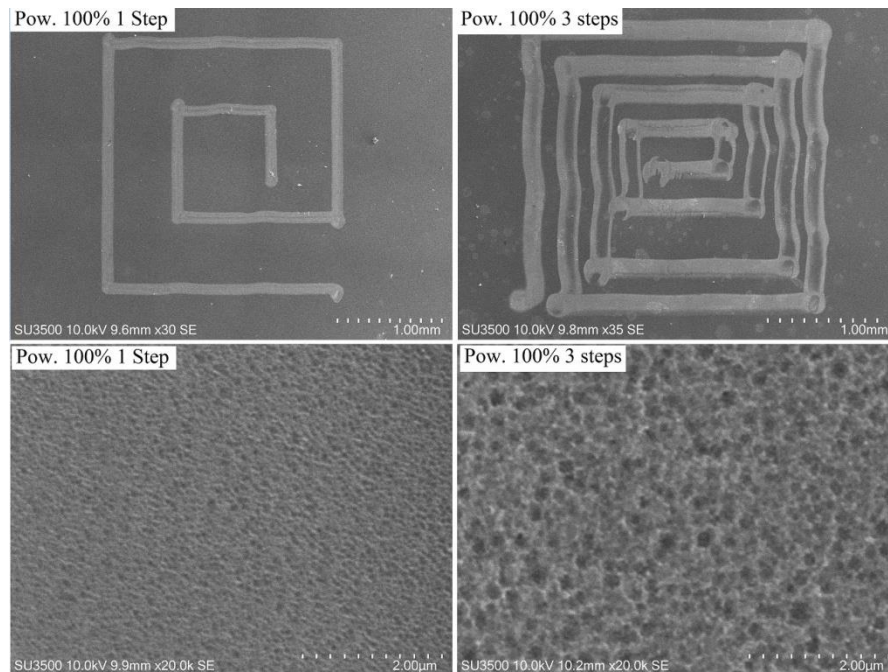


Figura 8. PS micromaqueinado y aproximación de las capas porosas fotograbadas.

Es importante indicar que los resultados referentes a la caracterización del PS micromaqueinado, se realizaron de manera individual por parte del profesor en el laboratorio del instituto, debido a las restricciones de trabajo grupal presencial por la presente situación de pandemia derivada del COVID-19 que atraviesa el país. Pero con la ayuda de las plataformas virtuales de comunicación grupal es posible el asesoramiento hacia los estudiantes y transmitir los resultados de las pruebas de funcionamiento del prototipo construido. Para el buen desarrollo de esta práctica integradora, se estableció previamente con los estudiantes los canales de comunicación para la impartición de clases, carga de material didáctico y seguimiento de las actividades de aprendizaje, recordando que la finalidad es trabajar en equipo y cumplir los requerimientos que demanda un proyecto colaborativo, así como asignar una planeación clara en cuanto a tiempos de entrega de avances y del proyecto final. La Figura 9 muestra la infraestructura disponible en el laboratorio de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Puebla para la realización y validación del proyecto presentado en esta práctica integradora.

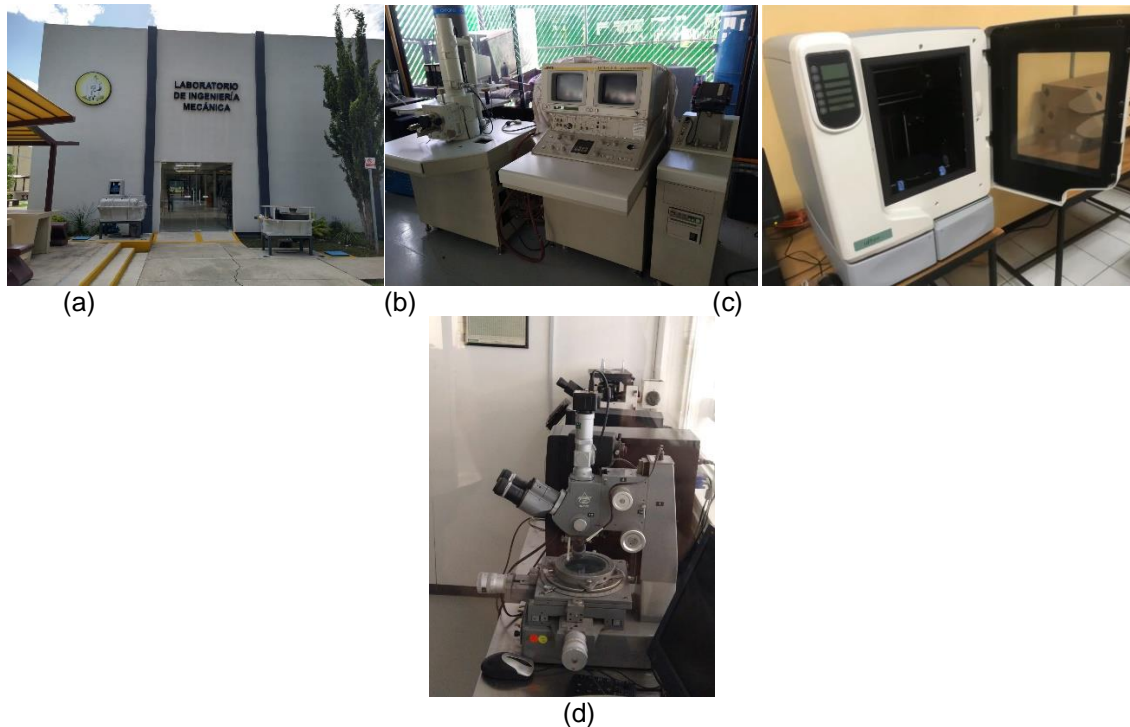


Figura 9. a) Acceso principal al Laboratorio de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Puebla. b) Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) Hitachi SU3500. c) Impresora 3D U-PRINT PLUS. d) Microscopio Óptico ZEISS.

CONCLUSIONES

En esta evidencia de experiencia de buena práctica e innovación en la docencia, se desarrolló con éxito una máquina CNC. La máquina se ensambló con piezas impresas en 3D y de acero. El control del movimiento y la potencia del láser se determinaron con códigos G. La máquina es capaz de micromecanizar a nivel de micras c-Si tipo-n y obtener PS. El prototipo construido es resistente, económico y transportable, ideal para su uso en laboratorio. El análisis vía SEM demostró que la máquina CNC es capaz de micromecanizar diferentes diseños, demostrando la correcta formación de una capa porosa con propiedades físicas y químicas particulares, abriendo la posibilidad de utilizar este método para obtener PS con patrones definidos y controlar las propiedades de la capa porosa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ramirez-Gutierrez, C.; Martinez-Hernandez, H. D.; Lujan-Cabrera, I. A.; Rodriguez-Garcia, M. E. Design, fabrication, and optical characterization of one-dimensional photonic crystals based on porous silicon assisted by in-situ photoacoustics. *Sci. Rep.* **2019**, 9,1, 1.
- [2] Severiano, F.; Gayou, V. L.; Delgado Macuil, R.; Contreras-Rozo, J. A.; Orduña Diaz, A.; Martínez Gutiérrez, H. Porous Silicon Decorated with Gold Nanoparticles for Detection of Histamine. *Sensor Lett.* **2019**, 17, 8, 1.
- [3] Kaukonen, A. M.; Laitinen, L.; Salonen, J.; Tuura, J.; Heikkilä, T.; Limnell, T.; Hirvonen, J.; Lehto, V. P. Enhanced in vitro permeation of furosemide loaded into thermally carbonized mesoporous silicon (TCPSi) microparticles. *Eur. J. Pharm. Biopharm.* **2007**, 66, 348.
- [4] Parkhutik, V.; Chirvony, V.; Matveyeva, E. Optical properties of porphyrin molecules immobilized in nanoporous silicon. *Biomol. Eng.* **2007**, 24, 71.
- [5] Andersen, O. K.; Frello T.; Veje E. Photoinduced synthesis of porous silicon without anodization. *J. Appl. Phys.* **1995**, 78, 6189.
- [6] Abderrafi, K.; García, C. R.; Gongalsky, M. B.; Suarez, I.; Abarques, R.; Chirvony, V. S.; Timoshenko, Y. V.; Ibañez, R.; Martínez-Pastor, J. P. Silicon Nanocrystals Produced by Nanosecond Laser Ablation in an Organic Liquid. *J. Phys. Chem. C.* **2011**, 115, 5147.
- [7] Hrubciak, R.; Sinogeikin, S.; Rod, E.; Shen, G. The laser micro-machining system for diamond anvil cell experiments and general precision machining applications at the High Pressure Collaborative Access Team. *Rev. Sci. Instrum.* **2015**, 86, 072202.

Uso de drones para medición autónoma de factores ambientales en las zonas rurales de Pánuco.

Jesús Muñoz Blanco^{1*}, Samira King Delgado², Armando Hernández Machuca³, Carlos Kuri Juárez Suárez⁴

¹Instituto Tecnológico Superior de Pánuco, *jesus.muniz@itspanuco.edu.mx

²Instituto Tecnológico Superior de Pánuco, samira.king@itspanuco.edu.mx

³Instituto Tecnológico Superior de Pánuco, armando.hernandez@itspanuco.edu.mx.

⁴ Instituto Tecnológico Superior de Pánuco, carlos.kuri@itspanuco.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica

Resumen

El uso de tecnologías para la identificación y mejor atención en el campo, es hoy en día un factor de competencia y eficiencia para un mayor aprovechamiento de la agricultura y el ambiente de la región de Pánuco, Veracruz México, ya que permite tener un control más detallado acerca del estado en que se encuentra el ambiente para un sembradío.

El presente proyecto pretende contribuir a la investigación para el desarrollo de procesos de identificación de calidad del agua, calidad del aire, así como la identificación de la calidad agua que proviene del río en nuestra zona de Pánuco.

Los trabajos de investigación y desarrollo tecnológico sobre monitoreo y control de los cultivos, se realizarán mediante IoT, con el apoyo de drones programables experimentales, placas microcontroladoras; así como sensores que permitan medir la calidad de agua y aire.

Palabras clave: Drones, sensores, factores ambientales

Abstract

The use of technologies for the identification and better attention in the field, is today a factor of competition and efficiency for a better use of agriculture and the environment of the region of Pánuco, Veracruz Mexico, since it allows to have a more control. detailed information about the state of the environment for a crop.

This project aims to contribute to research for the development of temperature identification processes, air quality, as well as the identification of the quality of water that comes from the river in our Panuco area.

The research and technological development work on crop monitoring and control will be carried out through IoT, with the support of experimental programmable drones, microcontroller boards; as well as sensors that allow measuring the quality of water and air.

Key words: drones, sensors, ambiental factors.

Introducción

El mundo experimenta una creciente demanda por productos agrícolas para lograr cumplir con las exigencias de mercados que hacen uso de productos comestibles y abastecer a una población en constante crecimiento. Se estima que la población mundial para el 2050 será de 9,700 millones de personas, lo cual implica la necesidad de mejorar la producción de alimentos [1].

La ciudad de Pánuco, Veracruz, situada en el extremo norte del estado, colindante con los estados de Tamaulipas y San Luis Potosí, y con una extensión territorial de 3171.2 km² de los cuales 1442 son destinados a la agricultura[3]. La mayor producción agrícola está basada en el cultivo de caña de azúcar, seguido por la soya y el sorgo [2].

Su clima se vuelve propicio de acuerdo a que cuenta con un clima subhúmedo con lluvias en verano con humedad del 75 % y cálido subhúmedo con lluvias en invierno, de humedad media al 25 % [3].

El adecuado aprovechamiento de los recursos naturales para una producción sostenible y sustentable se vuelve una necesidad apremiante, con el soporte de los recursos tecnológicos actualmente disponibles. El uso de tecnología que permita un monitoreo e identificación adecuados y a mayor escala, utilizando plataformas emergentes de apoyo, como el uso de vehículos aéreos no tripulados, es un factor ideal para uso eficiente de dichos procesos.

La región de Pánuco cuenta con una Industria agrícola para la producción de azúcar a partir de la caña, asociaciones agrícolas que derivan de la industria están en constante búsqueda por mejorar sus procesos e incorporar tecnología que les permita identificar la calidad de suelos, el monitoreo temprano de sus cultivos, con la finalidad de lograr una agricultura de precisión, es donde nace el área de oportunidad para el desarrollo del presente proyecto.

En lo que respecta a la calidad del aire, en las zonas rurales de la ciudad de Pánuco, se encuentran ubicadas estaciones de trabajo de pozos de extracción de crudo de petróleo, los cuales emanan gases contaminantes en un radio actualmente no identificado en cada sector, gases que afectan tanto al ambiente como al suelo donde se produce tal emanación.

La ciudad de Pánuco cuenta con un río del mismo nombre que forma parte del sistema hidrológico conocido como Tula-Moctezuma-Pánuco y desemboca en el golfo de México, en su trayectoria, el río refleja diferentes vertientes con características contaminantes, que ponen en duda la calidad del agua de los diferentes sectores del río a su paso por la ciudad. Pánuco además cuenta con alrededor de 360 cuerpos de agua, y presas en zonas de la ganadería que podrían ser determinadas de acuerdo a su calidad para uso de las necesidades propias del sector.

La intención del proyecto la implementación de un sistema que permita la identificación de factores ambientales diversos como es la identificación de la calidad del aire, calidad de agua en afluentes, con la finalidad de que a través de sus resultados se puedan tomar decisiones de acuerdo a las necesidades del sector.

Metodología

Después de realizar el análisis del contexto del proyecto, se determinó el proceso de desarrollo del proyecto, el cual está integrado por cinco etapas.

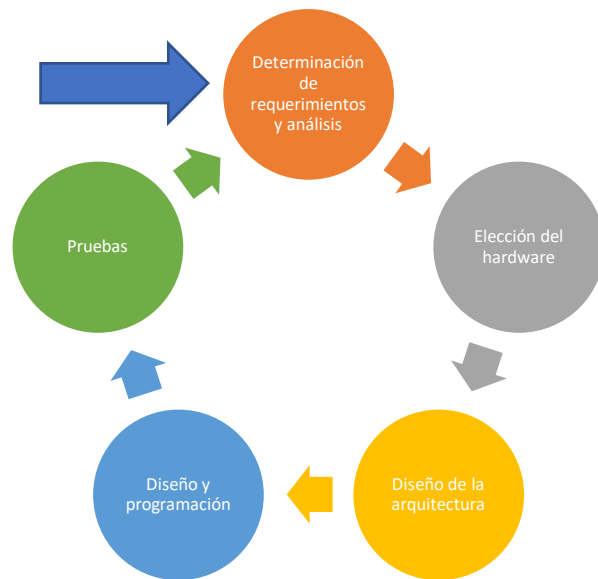


Figura 1. Proceso de Desarrollo

Determinación de requerimientos y análisis

Como parte de la creación de un modelo de utilidad a través del uso de un vehículo aéreo no tripulado y sensores para medición de factores del aire y agua.

Por otro lado, integrar interfaces que permitan recibir y almacenar factores de aire, agua. Los requerimientos del proyecto son los siguientes:

Identificar factores de calidad en el aire, que incluya CO₂, y compuestos orgánicos volátiles (VOC) que son compuestos que contienen carbono y otros elementos químicos como el hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, cloro, azufre, etc. y que a temperatura ambiente son gaseosos, en un espacio determinado.

Identificar factores del agua, total de sólidos disueltos en el agua (TDS), que incluye minerales y sales, principalmente calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos, en una fuente de agua determinada.

Manipulación programada de un vehículo aéreo no tripulado (dron) que pueda desplazarse del lugar de origen a otro, llevar un sensor para medir y retornar al punto de origen para depositar valores identificados.

Una aplicación que sirva de enlace de la recuperación de valores para depositarlos en un servidor de información.

Elección de hardware - Materiales

Para la creación de los módulos de identificación para el prototipo mediante drones se utiliza un microcontrolador alojado en la tarjeta Arduino nano y sensores acordes a las necesidades, sensores con características de factores confiables y de bajo costo.

Al realizar comparación sobre los diferentes sensores concluimos en las siguientes opciones, para un mejor resultado del proyecto.

Sensor de calidad de aire MQ-135. Es un sensor de control de calidad de aire es usado para la detección de contaminación en el medio ambiente, la señal de salida que proporciona el MQ-135 es dual, de carácter analógico y digital, adecuado para la detección de NH₃, NO_x, alcohol, benceno, humo, CO₂, entre otros.

Sensor de calidad de aire SCD30. Sensor de calidad de aire de alta precisión, permite proporcionar con exactitud y estabilidad mediciones de dióxido de carbono. El sensor mide valores de CO₂ en un amplio rango de medición

de 400 ppm a 10000 ppm con una precisión de ± 30 ppm + 3%. Además, incorpora mediciones de humedad y temperatura.

La intención de integrar en la práctica dos mediciones de calidad del aire, es comparar y cotejar la efectividad de la medición con al menos dos sensores diferentes.

Sensor de calidad del agua DF-SEN0189. Sensor de turbidez arduino, detecta la calidad del agua al medir el nivel de turbidez. detecta partículas suspendidas en el agua mediante la medición de la transmisión de luz y la velocidad de dispersión que cambia con la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) en el agua. Este sensor de turbidez arduino tiene modos de salida señal analógica y digital. Este tipo de sensor se utilizar para medir la calidad del agua en ríos y arroyos, mediciones de aguas residuales y afluentes,

Tarjeta Arduino Nano. El hardware de Arduino consiste es una placa de desarrollo de tamaño compacto, completa y compatible con protoboards, basada en el microcontrolador ATmega328P, con capacidad de memoria de 32 kb. La intención es el uso de una tarjeta de menor peso y tamaño, con similitud en capacidad de memoria que las otras versiones de interface arduino.

Drones para la medición autónoma y a distancia: Entre los drones considerados para la experimentación de un vuelo autónomo con medición mediante los sensores de calidad de aire y agua se encuentran:

Dron DJI Tello: Vehículo aéreo no tripulado, es uno de los drones más pequeños de la línea Dji, con una duración limitada de batería (13 minutos), pero con características de programación, a través de su kit de desarrollo de software (SDK) y mediante programación en el lenguaje python, como inconvenientes, es que no cuenta con un sistema de posicionamiento global (GPS).

Dron DJI Mini SE: Es un dron muy versátil y con gran estabilidad, a pesar de contar con un peso de 235 gramos, cuenta con cámara de alta resolución y un tiempo de batería considerable (25 minutos), su GPS permite un fácil retorno y navegación del dron, como inconveniente es que actualmente no está liberado el SDK que permita la programación para el vuelo autónomo.

Dron Parrot Anafi [6]. Es un vehículo aéreo no tripulado radiocontrolado de uso recreativo civil. Cuenta con un microprocesador y una serie de sensores, entre los cuales se incluyen dos cámaras que le permiten captar lo que ocurre a su alrededor, más un conector Wi-Fi integrado que le permite vincularse a dispositivos móviles personales que cuenten con los sistemas operativos iOS, Android o Linux. Mediante una distribución de Linux, el dron parrot permite la programación mediante python, lo que lo vuelve un dron muy completo para este tipo de dinámicas experimentales.

Actualmente se cuenta para la experimentación con drones Tello y DJI mini SE por sus capacidades de programación y versatilidad, además de la accesibilidad de su costo.

Impresora 3D Flashforge creator pro. Impresora 3D sencilla de doble extrusor ideal para imprimir 24/7 basada en tecnología de código abierto. Permite actualizar y modificar de manera flexible. Mientras tanto, puede elegir su software favorito como FlashPrint, Simplify3D, Cura, entre otros.

Identificación Autónoma

Para el proceso del sistema de identificación de factores ambientales como aire y agua en un espacio determinado se requiere:

- Elaboración de componentes 3D que permitan la instalación del dispositivo de medición y la interfaz en el dron, para que pueda hacer el vuelo de medición.
- Integración del dron y la interface de comunicación para recepción y traslado de los datos al servidor de información.
- Interfaz que permita la recepción y presentación de los datos identificados por los sensores de aire y agua.

Diseño y arquitectura del sistema

Este tipo de arquitectura se presenta para la interfaz de medición de los sensores MQ135, SENSIRION SCD30 y DF-SEN0189 para los valores de calidad del aire y calidad del agua, serán recibidos en la memoria EEPROM de la tarjeta arduino, para posteriormente trasladar la información a un servidor, para que la información pueda ser tratada y mostrada estadísticamente, ya sea en aplicación web o móvil, como se muestra en la figura 2.

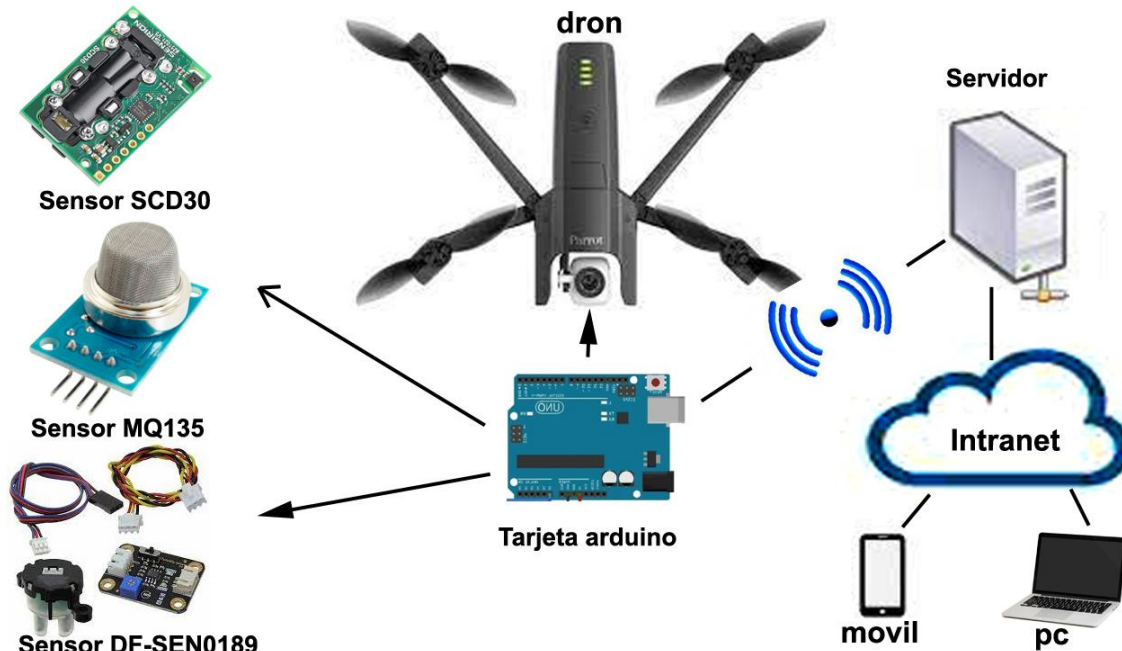


Figura 2. Arquitectura del sistema

Los sensores permitirán adquirir los datos correspondientes a factores de calidad de aire, y calidad de agua; los datos adquiridos serán procesados a través de un microcontrolador, almacenados y posteriormente compartidos a través de una red de datos, que para este sistema se propone el uso de la tarjeta Arduino nano, combinado con la tarjeta WIFI para el envío de la información hacia el servidor web local; el servidor web a través de la implementación del protocolo HTTP adquirirá y almacenará la información correspondientes a los parámetros ambientales, para posteriormente procesarla y compartirla a través de una aplicación Web y móvil; las aplicaciones permiten visualizar los datos de manera gráfica, y a su vez emitirá notificaciones y recomendaciones con base a los parámetros que se registran a través de los sensores.

Diseño y Programación

Para la codificación del sistema de monitoreo y control se ha elegido el siguiente software: Arduino Programming Language (basado en Wiring) y el Arduino Development Environment (basado en Processing).

De lado del servidor se utiliza los lenguajes HTML, PHP, así como las librerías Highcharts y FPDF para el procesamiento, administración y representación de la información de lado del cliente. Para el almacenamiento de datos se utiliza el sistema gestor de base de datos MySQL.

De lado del cliente, se utiliza una Aplicación Web y móvil; para la ejecución de la aplicación móvil se necesita un explorador Web, y para la aplicación móvil es necesario para su ejecución un dispositivo con plataforma Android.

Las funcionalidades de los módulos identificación y recepción de datos son las siguientes:

- Lectura de verificación de los sensores de aire y agua.
- Mapeo de ruta de vuelo del dron.
- Ejecución del plan de medición.
- Lectura y envío de datos calidad de agua(TDS) y aire (CO2, humedad, temperatura).
- Tratamiento y reporte de datos.

Pruebas

Al final de planificar, diseñar, gestionar y ejecutar los diferentes tipos de sensores a los cuales se les realizaron las pruebas necesarias para garantizar que el sistema cumpla con el funcionamiento esperado.

En esta etapa de realización de pruebas de funcionalidad ejecutando la activación tanto manual como autónoma para la medición de los factores integrados en el dron.

Los controles manuales se establecieron con el fin de probar los módulos de medición por separado, el primero consiste en que el módulo ordene al sensor realizar la lectura, almacenar los datos en la memoria interna y posteriormente depositarla en el servidor, a través de la red WIFI. La segunda etapa permite que el dron pueda hacer la trayectoria trazada, es decir, ir al punto indicado y retornar, la integración final, es montar la interface de medición en el dron para que permita el vuelo y medición autónoma.

El desarrollo actual del sistema cuenta con la capacidad de obtener y enviar datos de los sensores a través de la interfaz Arduino Nano, almacenar los datos en la memoria EEPROM de la tarjeta y almacenar los datos en una base de datos alojada en un servidor, la cual permite que los datos logren ser monitoreados a través la aplicación Web y móvil.

Resultados y discusión

Primeros resultados

En la primera etapa del proyecto se construyó un módulo para medir la calidad del aire, con energía autónoma a través de una batería, como muestra la figura 3. Para este dispositivo se utilizó el sensor MQ-135 y una tarjeta Arduino Mega, enviando los datos a través del Bluetooth a un dispositivo móvil. Es necesario curar el sensor antes de utilizarlo, por lo que se conecta de 6 a 12 horas para que el calentamiento del sensor elimine los residuos que pudieran quedar en el proceso de fabricación.

Adicionalmente se construyó un prototipo con conexión WiFi, en el cual se integró el módulo ESP8266-01 a la tarjeta Arduino Nano para recolectar y compartir datos del sensor MQ-135 a través del protocolo HTTP. En la figura 3 se muestra el prototipo físico.

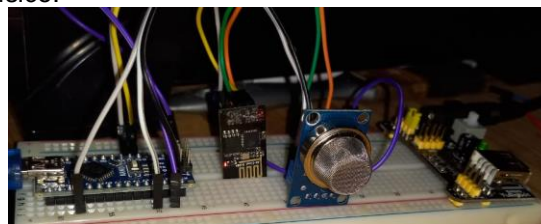


Figura 3. Prototipo inalámbrico de CO2

El prototipo inalámbrico integrado con el sensor MQ-135, logra medir las partes por millón (ppm) de manera analógica, realizando lecturas cada 5 segundos y estas son compartidas a través de una petición HTTP. En la figura 4 se muestra el resultado de una petición HTTP de medida de ppm para medir la calidad del aire.



Figura 4. Consulta de datos de CO2

El dispositivo está construido e integrado mediante una caja elaborada en la impresora 3D Flashforge Creator Pro, en la cual se integró un semáforo de color, el cuál de acuerdo a su nomenclatura, incrementa el cambio de

color de los leds, en donde el verde indica una calidad del aire aceptable y el rojo la presencia de gases altamente contaminantes. De esta misma forma se propone la construcción de un gabinete más ligero que soporte la instalación de la batería, la tarjeta Arduino Nano, el sensor y un sensor GPS que permita el registro de las coordenadas del desplazamiento.

Uno de los factores que más se monitorea es el dióxido de carbono (CO₂), el cual es un gas incoloro e inodoro que se forma en todos aquellos procesos en que tiene lugar la combustión de sustancias que contienen carbono, el dióxido de carbono es un asfixiante simple que actúa básicamente por desplazamiento del oxígeno y que a elevadas concentraciones (mayores a 30.000 ppm) puede causar dolor de cabeza, mareos, somnolencia y problemas respiratorios, dependiendo de la concentración y de la duración de la exposición [7].

La primera medición realizada en la localidad de Pánuco, en el ejido conocido como Barberena, en donde se encuentra una estación de bombeo de crudo por parte de Petróleos Mexicanos (PEMEX) y se detectan altas emisiones de gases al ambiente (Figura 5).



Figura 5. Medición de la calidad del aire en la estación Barberena de la localidad de Pánuco Veracruz.

Una vez confirmando la efectividad de la medición de los sensores y el vaciado de información al servidor, la segunda etapa consiste en planificar el vuelo autónomo del dron, que permita dirigirse en un primer momento de un punto a otro mediante programación, para ello inicialmente se utiliza un dron Tello por la disponibilidad y aplicación del dron, utilizando el lenguaje de programación Python y la plataforma PyCharm, o bien desde el IDLE de Python, importando las librerías **DJITelloPy**.

Debido a que el dron no cuenta con la capacidad de interpretar coordenadas que corresponden a latitud, longitud, el mapeo se realiza tomando las distancias de desplazamiento, así como la altura de vuelo, como se plantea en las figuras 6,7 y 8, las imágenes muestran el punto inicial del vuelo del dron, el punto final y la trayectoria, que es trazada utilizando Google Maps, nos señala la distancia a aplicar para el desplazamiento del dron, planteando una altura de vuelo de 3 metros.

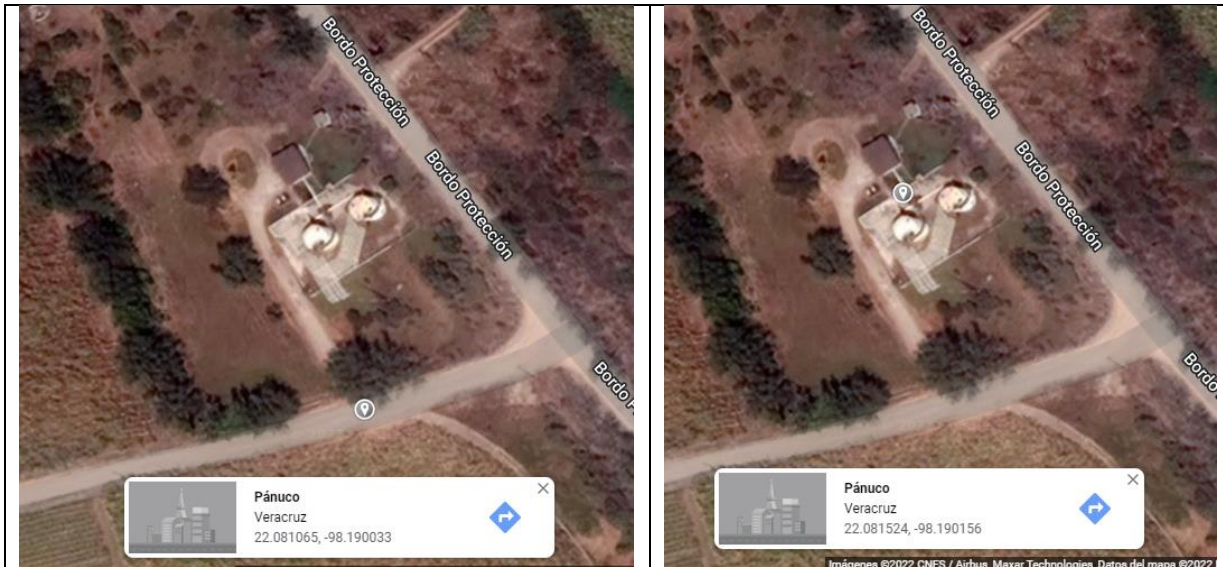


Figura 6 y 7. Coordenadas del punto inicial y final de la trayectoria del dron en la estación Barberena de la localidad de Pánuco Veracruz.

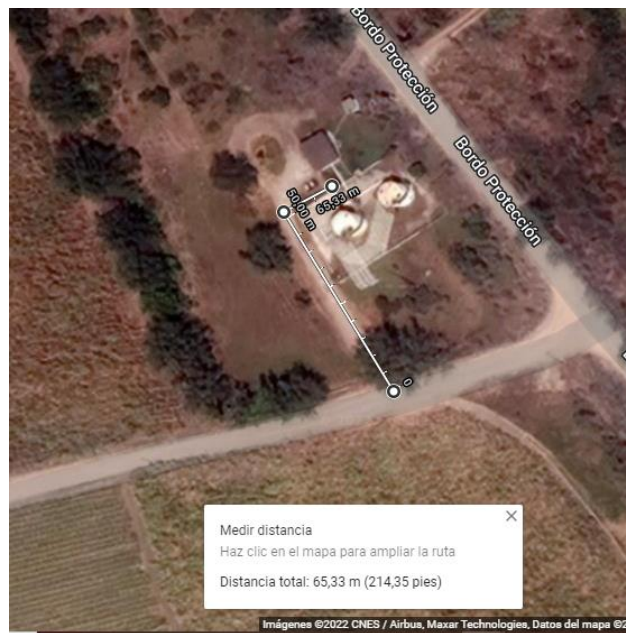


Figura 8. Mapeo de la trayectoria a recorrer por el dron para realizar la medición, en la estación Barberena de la localidad de Pánuco Veracruz.

Para realizar la trayectoria del dron se utilizan los comandos en Python:

<i>takeoff</i>	Permite el vuelo del dron
<i>up 300</i>	Eleva el dron a 300 cm (3 metros)
<i>forward 500</i>	Permite el desplazamiento del dron
<i>cw 90</i>	Permite el giro del dron en grados.
<i>land</i>	Permite el aterrizaje del dron.

Tabla 1. Comandos para el desplazamiento del dron

Optimizando las sentencias se puede realizar un desplazamiento en curva a través del comando *curve*. Para la trayectoria de la toma de muestra en el agua, el dron puede bajar mediante el comando *down*, permitiendo quedar a 15 cm del agua, lo cual permite que el sensor de turbidez del agua haga contacto para realizar la medición

El dispositivo en su segunda versión, integra al dron Parrot Anafi para que permita hacer la medición de la calidad del aire de forma programada y remota, sustituyendo el Arduino mega, por Arduino nano y eliminando componentes, como la caja y los leds para reducir al mínimo el peso del dispositivo, dado que es un peso adicional para el dron.

Como parte de la segunda etapa, se hicieron pruebas de mapeo y tomas en el dron, de manera manual, para contrastarlo con el mapeo autónomo, como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Pruebas de vuelo del dron

Con respecto a la calidad del agua, se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua.

Los parámetros utilizados se consideran la conductividad eléctrica (CE), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), fósforo y/o fosfatos, nitrógeno y/o nitrato, el oxígeno disuelto en la muestra, el pH, entre otros.

Se determinan los factores que corresponden al Total de Sólidos Disueltos (TDS), el cuál es un porcentaje que engloba sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica disueltas en el agua, los TDS se expresan en unidades de mg por unidad de volumen de agua (mg/L) o como partes por millón (ppm). de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) [5], en su estudio las siguientes conclusiones sobre el nivel de TDS ideal en agua (mg/l):

Menos de 300: Excelente

300 – 600: Bueno

600 – 900: Regular

900 – 1,200: Pobre

Más de 1,200: Inaceptable.

Basado en estos fundamentos, se soporta la medición del proyecto, para determinar si el agua es segura y saludable para su consumo, tanto en animales como en los seres humanos.

Trabajo a futuro

Actualmente se trabaja en la simplificación de los artefactos de medición que se incorporan en el dron para reducir peso, mejorar estabilidad sobre el equilibrio del dron y se trabaja en el análisis de imágenes bajo separaciones espectrales mediante programación para emitir juicios de valor en cuanto a factores de biomasa, rendimiento de plantas, entre otros.

Conclusiones

La incorporación e integración de la tecnología en los sectores importantes en el desarrollo económico de la región, desarrollado por instituciones de educación superior permite una mayor vinculación con las empresas y organismos de la región.

Promover la investigación en los alumnos y los docentes para beneficio de la sociedad, así como ser el punto de partida de proyectos que generen un impacto positivo en las condiciones ambientales de nuestra región, genera un grado de responsabilidad social.

Referencias

- [1] M. L. M. Vázquez, «Agricultura de precisión, análisis de imágenes aplicada a la producción agrícola,» 23 septiembre 2021. [En línea]. Available: <http://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2017-06-26-16-35-48/17-ciencia-hoy/1431-agricultura-de-precision-analisis-de-imagenes-aplicada-a-la-produccion-agricola>.
- [2] SAGARPA, «Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera,» 2014.
- [3] INEGI, «Anuario Estadístico y Geográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave,» 2014.
- [4] M. Jern, «TDS: ¿Una manera fiable de medir la calidad del agua?,» Tapp Water, 14 01 2022. [En línea]. Available: <https://tappwater.co/es/tds-medir-calidad-agua/>.
- [5] O. M. d. I. Salud, «Agua para consumo humano,» OMS, 21 03 2022. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.
- [6] A. E. e. drones, «Parrot ANAFI: guía con características, funciones, opiniones y más,» 20 11 2020. [En línea]. Available: <https://aerocamaras.es/parrot-anafi-guia-caracteristicas-funciones-opiniones/#caracteristicas-dron-parrot-anafi>.
- [7] I. p. I. S. Geoambiental, «El dióxido de carbono,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-carbono-co2/>. [Último acceso: 22 06 2022].

Diseño, fabricación y validación de bobina para calentamiento por inducción de probetas planas.

Pablo Alberto Limon Leyva ¹, Antonio de Jesús Balvantin García ², Mario Francisco Suzuki Valenzuela ³, Rafael Alfonso Figueroa Díaz ⁴

¹Instituto Tecnológico de Sonora, pablo.limon@itson.edu.mx

²Universidad de Guanajuato, División de Ingeniería Campus Irapuato – Salamanca, antonio.balvantin@ugto.mx

Área de participación: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica.

Resumen

Este trabajo presenta la caracterización experimental del proceso de calentamiento por inducción de probetas metálicas bajo la norma ASTM E8, variando los parámetros geométricos del inductor, así como los valores de las variables eléctricas de alimentación del sistema de calentamiento. El objetivo principal del presente trabajo es determinar tanto los parámetros geométricos de la bobina, como son la forma geometría, número espiras, y distancia a la probeta; los parámetros de alimentación eléctrica del circuito (voltaje y corriente), con los cuales se genere un calentamiento uniforme y constante en las probetas utilizadas por un periodo de tiempo prolongado. Los perfiles de temperatura, generados en las probetas, fueron adquiridos utilizando una cámara termográfica Fluke® T110. Los resultados obtenidos se utilizarán para generar una estación experimental de calentamiento por inducción para futuras pruebas de caracterización mecánica de materiales sujetos a tensión uniaxial a temperaturas superiores a las del ambiente.

Palabras clave: Caracterización, experimental, inducción, calentamiento.

Abstract

This paper presents the experimental characterization of the induction heating process of metallic specimens under ASTM E8, varying the geometrical parameters of the inductor, as well as the values of the heating system's electrical supply, is proposed in this work. The main objective of this work is to determine both the geometrical parameters of the coil, such as geometry, number of turns, and distance to the specimen; as well as the electrical power supply parameters of the circuit (voltage and current), with which a uniform and constant heating is generated in the specimens used for an extended period of time. The temperature profiles generated in the specimens were acquired using a Fluke® T110 thermographic camera. The obtained results will be used to generate an experimental induction heating station for future mechanical characterization tests of materials undergone uniaxial stress at temperatures over ambient temperature.

Key words: Characterization, experimental, induction, heating.

Introducción

La predicción de los efectos de las variaciones de temperatura sobre el comportamiento mecánico del acero durante las condiciones de trabajo de elementos mecánicos y componentes estructurales es crítica para diversas aplicaciones industriales. La caracterización de las propiedades mecánicas de los materiales de uso industrial bajo condiciones de temperaturas variables se ha estudiado recientemente por diversos investigadores. La influencia de la temperatura en un rango entre 500 °C y 850 °C sobre la tasa de deformación y la distribución del esfuerzo en aceros con diversos recubrimientos, utilizados en la industria automotriz, fue reportada en la literatura [1, 2]. Por otro lado, estudios como el desarrollado por Kim, et al., [3], reportan las propiedades mecánicas de aleaciones no ferromagnéticas de titanio utilizadas para la industria aeroespacial bajo condiciones de alta temperatura, llegando a los 500 °C. Adicionalmente, Shimamoto et al. [4] desarrollaron y validaron una estación experimental de pruebas de tensión biaxiales, con la capacidad de realizar pruebas tanto dinámicas como estáticas a temperaturas controladas sobre probetas cruciformes de aluminio.

La caracterización de materiales bajo condiciones de alta temperatura requiere un proceso de calentamiento que mantenga dicha temperatura constante. Diversos procesos de calentamiento se han utilizado para la caracterización del comportamiento mecánico de materiales industriales bajo condiciones de alta temperatura. El calentamiento por resistencia eléctrica, así como el calentamiento por inducción electromagnética son dos de los procesos más utilizados para el calentamiento de materiales industriales sometidos a pruebas de caracterización mecánica.

El proceso de calentamiento por resistencia eléctrica consiste en colocar el espécimen entre dos electrodos para calentarlo por el efecto Joule [5, 6]. El calentamiento por resistencia eléctrica puede causar variaciones de temperatura sobre el espécimen, resultando en la generación de propiedades mecánicas no uniformes sobre el material [7, 8]. Por otro lado, el calentamiento por inducción es un proceso de calentamiento rápido, utilizado para la fundición y calentamiento de materiales para el conformado de metales en caliente [9-11].

La eficiencia energética del calentamiento por inducción es, hasta el momento, mayor a la de otros procesos de calentamiento de materiales ferromagnéticos [12, 13]. Debido a sus características de alta eficiencia y rapidez de calentamiento, en este trabajo se estudian diversos parámetros del proceso de calentamiento por inducción sobre probetas estándar de acero para pruebas de tensión.

Comúnmente, los diversos estudios realizados para la caracterización de las propiedades mecánicas de diferentes materiales se llevan a cabo a altas temperaturas, en el rango de los 500 °C a los 900 °C. Sin embargo, la influencia de la temperatura sobre las propiedades mecánicas de los materiales en un rango entre los 100 °C y los 500 °C, no ha sido reportada en la literatura.

En el presente trabajo se propone el análisis del proceso de calentamiento por inducción para generar valores en un rango bajo de temperatura (entre 50 °C y 200 °C) sobre el material. La variación de temperatura se genera modificando los parámetros de construcción del inductor, tales como su geometría y la distancia de separación al material. Adicionalmente, se varía también la potencia de alimentación del circuito de inducción, de manera que se pueda controlar el tiempo de calentamiento y la temperatura deseada.

Los resultados obtenidos a partir del presente análisis determinaran la factibilidad de implementar el sistema experimental propuesto para la futura caracterización de las propiedades mecánicas de materiales en el rango de temperaturas alcanzado. Para llevar a cabo este proceso, se hace circular una corriente alterna a través de un conductor, creando un campo magnético alterno, en el cual, una pieza de trabajo se ubicará dentro de él, convirtiéndose en un circuito electromagnético. Como resultado de ello, una corriente alterna se desarrolla en la pieza de trabajo, aunado con un cierto calor, debido a la resistencia del material, así como a las pérdidas por el fenómeno de histéresis.

Partiendo de un fenómeno básico del electromagnetismo, la inducción de calor. Un voltaje alterno se aplica a una bobina resultará en una corriente alterna en el circuito de la bobina. Esta corriente en la bobina producirá, en sus alrededores, un campo magnético variable. Este campo magnético tiene la capacidad de inducir corrientes parásitas (eddy) en la pieza de trabajo, localizada dentro de la bobina. Estas corrientes parásitas cuentan con la misma frecuencia que la corriente de la bobina, más no su sentido, ya que cuentan con un sentido contrario a la corriente de la bobina. Dadas las características de la pieza de trabajo, las corrientes parásitas producirán calor por medio del efecto Joule.

Se han detectado altas eficiencias cuando la resistencia de la bobina conductora es baja, comparada con la pieza de trabajo. También, las dimensiones mínimas de la pieza de trabajo, normal al flujo del campo magnético es grande comparada con la profundidad de penetración [14, 15].

Fundamentos Teóricos

Para la comprensión del fenómeno de calentamiento por inducción, se deben comprender las ecuaciones de Maxwell referidas al electromagnetismo. Una fuerza electromotriz es aquella capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos, también conocida como FEM. Si se utiliza una fuente de FEM y un dispositivo elaborado por un conductor, se puede establecer una corriente eléctrica capaz de generar un campo magnético B. El campo magnético generado, se puede intensificar acondicionando el conductor en forma de bobina con múltiples vueltas aisladas eléctricamente [16].

Todos los fenómenos electromagnéticos pueden relacionarse por medio de las ecuaciones de Maxwell, las cuales se presentan a continuación:

$$\epsilon_0 \oint E \cdot dS = q \quad (1)$$

$$\oint B \cdot dS = 0 \quad (2)$$

$$\oint E \cdot dl = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (3)$$

$$\oint B \cdot dl = \mu_0 \left\{ \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} + i \right\} \quad (4)$$

La ecuación (1) es la ley de Gauss para electricidad, que relaciona la carga eléctrica q y el campo eléctrico E que pasa por una superficie S , donde ϵ_0 es la permitividad eléctrica en el vacío. La ecuación (2) es la ley de Gauss para magnetismo y describe parcialmente, el comportamiento del campo magnético B que pasa por una superficie. La ecuación (3) es la ley de inducción de Faraday, que relaciona el efecto eléctrico del flujo del campo magnético ϕ_B , con el campo eléctrico que pasa por una cierta longitud l del medio; finalmente, la ecuación (4) que es la ley de Ampere describe el efecto magnético de campos eléctricos o corrientes variables sobre el medio, donde μ_0 es permeabilidad magnética del vacío y ϕ_E es el flujo del campo eléctrico.

De esta manera, si en un conductor tipo bobina se hace circular una corriente eléctrica, se genera un campo magnético cuya amplitud y distribución se puede también expresar con la ley de Ampere [17].

$$NI = \oint H \cdot dl = Hl \quad (5)$$

Donde, N es el número de espiras de la bobina, I es la corriente que circula a través de la bobina, H es el campo magnético y l es la longitud del circuito.

Tomando en cuenta que la corriente es alterna, se puede utilizar la ecuación de Faraday-Maxwell, que dice que se induce un campo magnético variable en el tiempo y, en consecuencia, para un conductor sumergido en este campo, una FEM (ε) tendrá el siguiente valor.

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi_B}{dt} \quad (6)$$

Por otro lado, en la parte interna de la pieza de trabajo a calentar, por medio de la inducción electromagnética, se denominará corriente inducida (Foucault), representada por i_f , y esta última es responsable por la generación del efecto Joule, el cual puede representarse por la siguiente ecuación.

$$P = i_f^2 R_{eq} \quad (7)$$

Donde, P es la cantidad de calor expresado en Julios (J) y R_{eq} es la resistencia eléctrica del conductor. Cabe resaltar, que el proceso de inducción electromagnética es un método de no contacto. La generación de calor puede controlarse, así como la profundidad δ a la cual se desea calentar la pieza de trabajo, la cual puede calcularse de la siguiente manera.

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu_0 \mu_r}} \quad (8)$$

Donde, ρ es la resistividad eléctrica del material, f es la frecuencia de la corriente alterna en la bobina, μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío, y μ_r es la permeabilidad magnética relativa del material. De esta manera, es posible modelar matemáticamente el proceso de calentamiento por inducción sobre un material ferromagnético, fenómeno que se aprovecha experimentalmente para diferentes implementaciones prácticas. El proceso de calentamiento experimental de probetas de acero al carbón se describe en la siguiente sección.

Metodología

Materiales

Se emplean probetas estandarizadas bajo la norma ASTM E8 para pruebas de caracterización de materiales, mismas que poseen una geometría con nomenclatura como se muestra en la figura 1 [18].

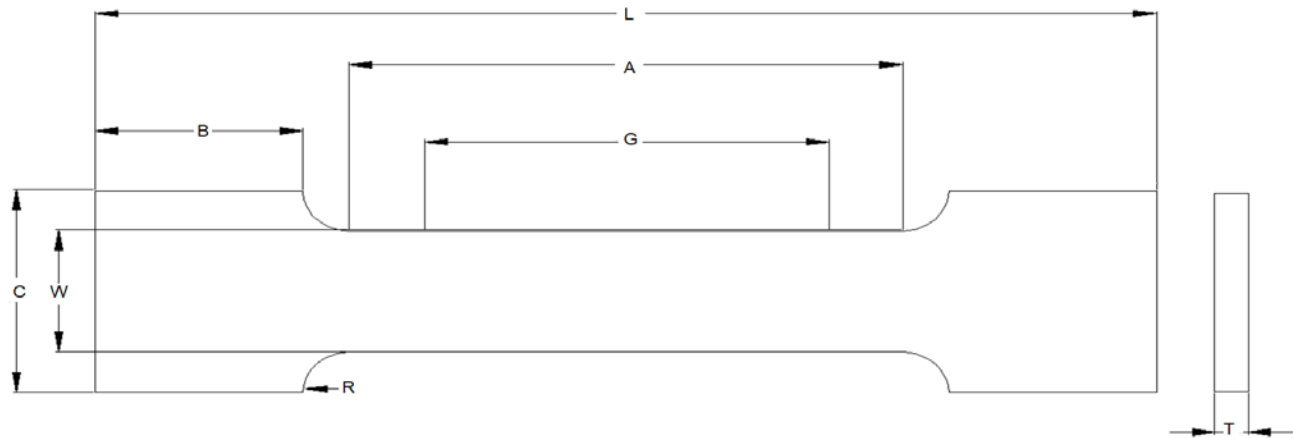


Figura 1. Geometría probeta norma ASTM E8.

Siendo, L la longitud total, W el ancho, G la longitud de la galga, T el grosor, R radio del filete, A longitud de la sección paralela reducida, B la longitud de la sección de agarre y C la anchura de la sección de agarre.

Para la experimentación se diseñaron y fabricaron manualmente tres diferentes bobinas, cambiando su geometría de manera que se altere la distancia al material. Las mismas por restricciones geométricas de las probetas a calentar, principalmente la sección de agarre de la probeta C , para que la bobina alcance a colocarse en la sección central, los diámetros de las bobinas son superiores a la longitud C de la Figura 1, la cual representa la sección de sujeción de la probeta, considerando también, que las geometrías propuestas mantengan la distancia cercana a la probeta. Aunado a lo anterior los diseños ovalados permiten acercar la bobina y los campos magnéticos a la zona central de la probeta.

Las tres bobinas consisten en espirales de 10 vueltas, siendo una de ellas circular y dos ovaladas (ver Figura 2). La bobina circular tiene un diámetro de 2", mientras que para la bobina ovalada 1, se utilizaron valores en el eje mayor (EM) y eje menor (em) de 2.75" y 1.1", respectivamente. Por otro lado, la bobina ovalada 2 tiene medidas de EM 2.3" y em 0.67". Para la fabricación de las bobinas se utilizó alambre de cobre calibre 12; adicionalmente, se mantuvo una distancia constante de espiras de 3 mm entre las espiras, utilizando un separador fabricado con manufactura aditiva en material ABS.

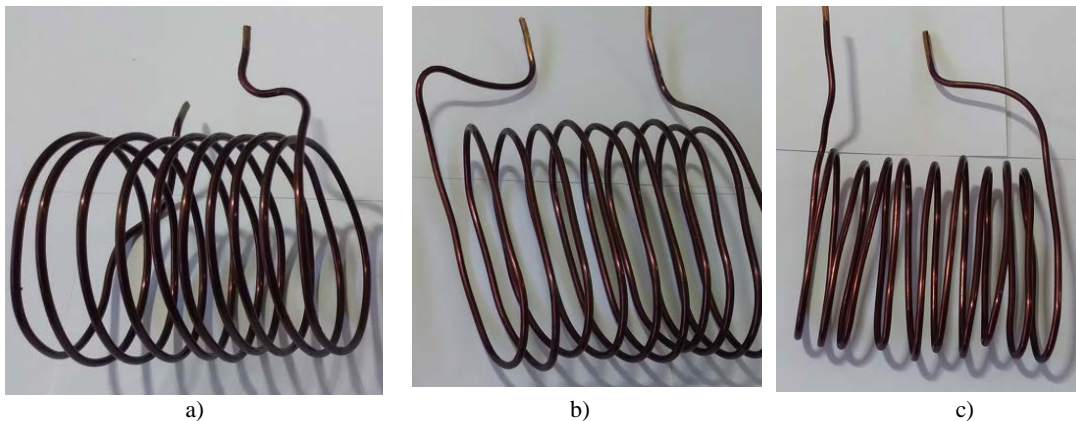


Figura 2. Bobinas experimentales utilizadas en la caracterización del proceso de calentamiento;
a) bobina circular, b) bobina ovalada 1 y c) bobina ovalada 2.

Por otro lado, la alimentación del circuito de calentamiento por inducción se varió en función de modificar la temperatura alcanzada a diferentes tiempos de calentamiento. El circuito para el calentamiento por inducción es una placa mini ZVS la cual trabaja en un rango de 5 a 12 V con un consumo máximo de 6 A. Para la alimentación del circuito de calentamiento se utilizó una fuente de poder BK Precision® con rangos de operación de 0-32V y de 0-6A (ver Figura 3).

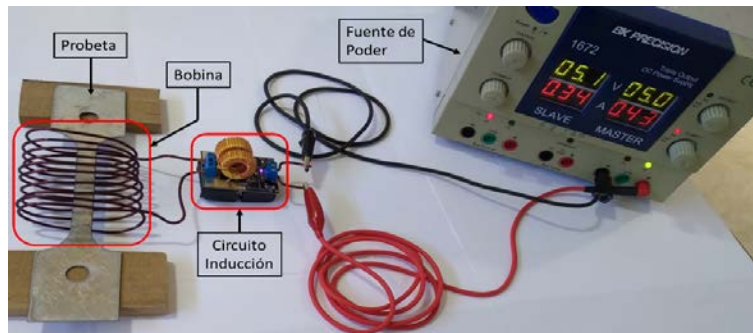


Figura 3. Circuito de inducción conectado.

Para mantener la distancia de las espigas en las bobinas se implementa un separador dieléctrico, mismo que posee la forma geométrica para sujetar el calibre del cable empleado, aunado a separar las espiras uniformemente (ver Figura 4).



Figura 4. Espaciador de espiras de las bobinas.

Preparación

Se realizan las conexiones eléctricas de la fuente de poder, el circuito de inducción y la bobina, posteriormente se coloca la probeta en el interior de la bobina equidistante al centro de la misma, finalmente se colocan los espaciadores dieléctricos para espaciar las espiras de las bobinas uniformemente.

se controlan las condiciones constantes del lugar donde se realizan las pruebas, para evitar transferencias de calor por convección, conducción y radiación externas a las suministradas por el experimento, tales como corrientes de aire por flujo forzado, temperatura homogénea, en este caso 25° C, colocadas a la sombra, etc.

Desarrollo

Las variables que cambian en el experimento son la alimentación de la fuente de poder, los tres tipos de bobinas propuestas, el tiempo de exposición, mismos que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Variables del experimento.

Variables	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Voltaje de alimentación (V)	5	9	12
Tipo de bobina	Circular	Ovalada 1	Ovalada 2
Tiempo de exposición (Seg)	-	30	60

La caracterización de las bobinas propuestas se realizó variando el voltaje de alimentación del dispositivo de calentamiento por inducción en un rango de 5 a 12 volts y midiendo la potencia consumida por el circuito en vacío, y bajo condiciones de carga. Para generar la carga sobre el circuito se introduce una probeta de acero al carbón con dimensiones estándar. La temperatura de la probeta se monitorea en dos tiempos: a los 30 segundos de iniciada la prueba y finalmente, a los 60 segundos de calentamiento. Para determinar la

temperatura alcanzada en la probeta se capturó una imagen termográfica con una cámara marca Fluke Ti10, la cual proporciona la distribución de temperatura a lo largo de la superficie calibrada de la probeta. En cada imagen termográfica obtenida, se determinó la temperatura mínima y máxima de la probeta. Adicionalmente, se estimaron las temperaturas promedio y la desviación estándar de los valores de calentamiento. Los resultados obtenidos de las pruebas experimentales se presentan y discuten en la siguiente sección.

Se inicia el experimento suministrando los parámetros eléctricos correspondientes por medio de la fuente de poder, se monitorea y contabiliza el tiempo, una vez alcanzado el tiempo correspondiente se realiza la captura de las condiciones térmicas por medio de la cámara termográfica, ajustando emisibilidad, humedad relativa, temperatura ambiente, distancia de la captura de la termografía. Se realizan tres réplicas del experimento con aleatoriedad en el orden de realización, para en el posterior procesamiento de datos.

Resultados y discusión

Primeros resultados

Se presenta a modo de ejemplificación una imagen termográfica de las pruebas realizadas con la probeta ovalada 2, a 60 segundos, y 12 V de alimentación.

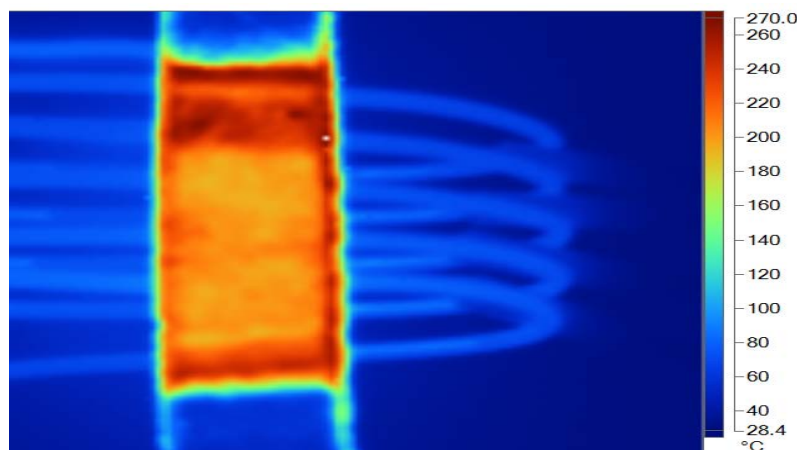


Figura 5. Probeta calentada por inducción, imagen termográfica.

Los resultados de las pruebas experimentales se obtuvieron incrementando el voltaje de alimentación del circuito para cada una de las probetas en un rango de 5 a 12 volts, con incrementos de 1 volt. Durante los experimentos se generaron un total de 9 pruebas por bobina, con 3 repeticiones por prueba para alcanzar significancia estadística. Los promedios de las variaciones de temperatura para las tres bobinas a los voltajes de alimentación de los circuitos electrónicos (5, 9 y 12 volts) se pueden observar en la Tabla 2, mientras que de forma gráfica en la figura 6.

Tabla 2. Variaciones de temperatura medidas.

Probeta Circular	T ° C (30 s)	T ° C (60 s)	Razón de cambio °C/s
5 V	39.23	39.58	0.01
9 V	44.81	48.60	0.12
12 V	56.04	59.35	0.11
Probeta Ovalada 1			
5 V	43.74	44.35	0.02
9 V	48.19	50.28	0.06
12 V	64.66	65.27	0.02
Probeta Ovalada 2			
5 V	106.70	129.36	0.75
9 V	191.53	194.66	0.10
12 V	229.12	252.47	0.77

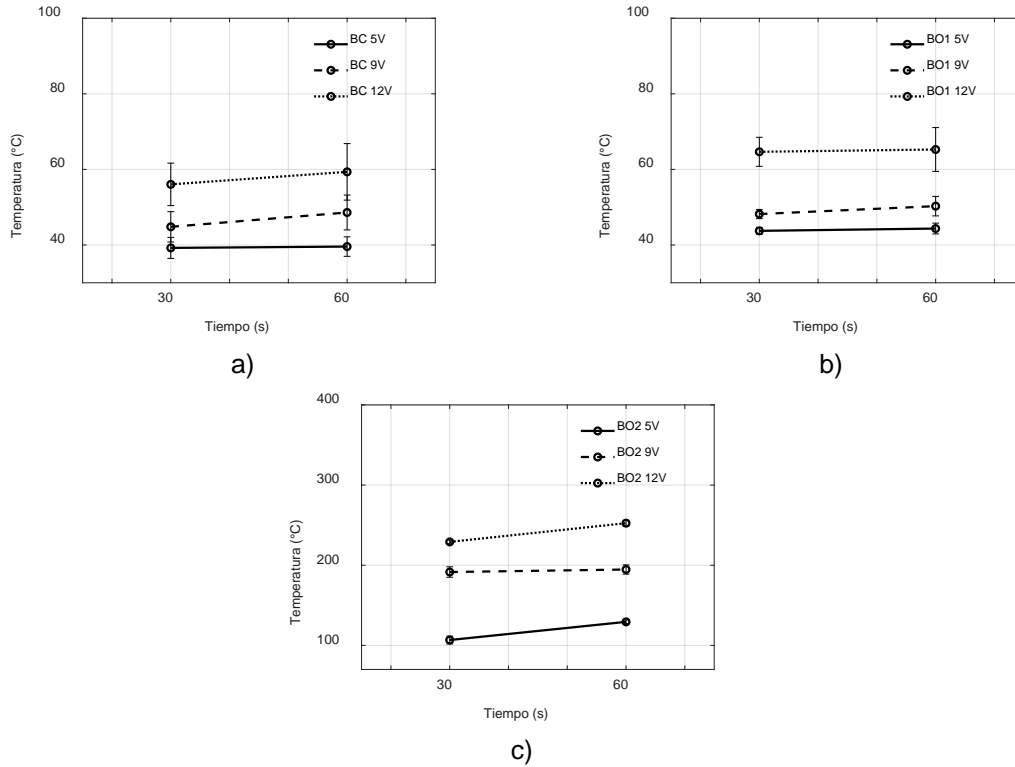


Figura 6. Resultados experimentales de calentamiento; a) bobina circular, b) bobina ovalada 1 y c) bobina ovalada 2.

En lo referente a las distribuciones de temperatura generada por la bobina ovalada 1, esto con las variaciones del modelo de bobina, la alimentación del voltaje y el tiempo de operación, esta presenta un rango de desviación estándar de entre 1.66 a 4.85, respectivamente en contraparte la bobina ovalada 2 presenta un rango de desviación estándar entre 9.6 a 12.14.

Trabajo a futuro

Realizar un estudio complementario de diseño de experimentos DOE, para identificar de las variables propuestas más alguna otra como la separación de las espigas, calibre de la bobina, etc, cuales son significativas para incrementar el rango de temperaturas a implementar, minimizar la desviación estándar de las temperaturas en la geometría, entre otros parámetros que se consideren relevantes, o para la operación, funcionalidad o manufactura de los mismos.

Realizar un estudio complementario para determinar si en los rangos propuestos los comportamientos son lineales, esto mediante un estudio de superficie de respuesta.

Realizar una optimización de las variables para por lo menos realizar una propuesta que contemple todas las variables significativas, que permita establecer una temperatura en un rango amplio de valores con la mínima distribución de temperaturas en el área de interés.

Implementar el sistema propuesto en experimentación que permita la caracterización de distintos materiales a diferentes temperaturas.

Conclusiones

En el presente trabajo se llevó a cabo la caracterización del proceso de calentamiento por inducción sobre probetas de acero al carbón, con el fin de determinar los parámetros de diseño geométrico de las bobinas de calentamiento y los valores apropiados de alimentación que permitan mantener un determinado valor de temperatura constante durante el periodo de caracterización mecánica del material de la probeta, con la restricción secundaria de mantener la menor variación de temperatura en la zona de calentamiento.

Para el desarrollo de este trabajo se propuso el diseño y la fabricación de tres diferentes bobinas de calentamiento variando su geometría, generando así una bobina circular y dos ovaladas, con diferentes espaciamientos con respecto a la probeta a calentar. De los resultados experimentales obtenidos, se puede concluir que el mejor desempeño para mantener un valor de temperatura constante se obtuvo con la bobina ovalada 1. Mientras que la mayor temperatura obtenida en los tiempos de prueba propuestos se obtuvo con la bobina ovalada 2.

Una razón de cambio baja en las temperaturas de calentamiento se traduce en que el circuito puede mantener un valor de temperatura constante por un mayor tiempo. La desventaja de la bobina circular es la baja temperatura que induce sobre la probeta. En términos de mantener un valor de temperatura constante, la bobina ovalada 1 presenta un mejor desempeño. Finalmente, la bobina ovalada 2 genera un mayor calentamiento sobre la probeta; sin embargo, también presenta variaciones mayores por incremento de tiempo de la prueba.

Para las tres bobinas se puede observar un comportamiento con menos variaciones y estable en las temperaturas promedio para los 30 y 60 segundos de prueba. Sin embargo, la variación mínima se puede observar en la bobina circular con una alimentación de 5 V, sin embargo, los rangos de temperatura son los más limitados dentro de las propuestas analizadas.

Con base en los resultados, se puede determinar el diseño de la bobina a utilizar dependiendo de los requerimientos de la prueba deseada, así como también los parámetros de alimentación del circuito de calentamiento, en función del tiempo de operación y el valor de temperatura que se deseada mantener constante. Los resultados del análisis que se llevó a cabo durante el desarrollo del presente trabajo sentarán las bases para futuras investigaciones sobre la caracterización de las propiedades mecánicas de materiales metálicos bajo diferentes valores de temperatura constantes. Aunado a las prospecciones de trabajos futuros para la determinación de las variables significativas por medio de diseño de experimentos DOE, además de la determinación del comportamiento dentro de los rangos de operación por superficie de respuesta y la final propuesta de optimización.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAPI ITSON) edición 2022 por el financiamiento para el desarrollo del presente trabajo.

Referencias

- [1] Fan, D. W., et al. "Critical review of hot stamping technology for automotive steels." *MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY-ASSOCIATION FOR IRON AND STEEL TECHNOLOGY-1* (2007): 98.
- [2] Taylor, T. and, and A. Clough. "Critical review of automotive hot-stamped sheet steel from an industrial perspective." *Materials Science and Technology* 34.7 (2018): 809-861.
- [3] Kim, Junyeong, Kug-Hwan Kim, and Dongil Kwon. "Evaluation of high-temperature tensile properties of Ti-6Al-4V using instrumented indentation testing." *Metals and Materials International* 22.2 (2016): 209-215.
- [4] Shimamoto, Akira, Taku Shimomura, and Jeong Hun Nam. "The development of a servo dynamic biaxial loading device." *Key Engineering Materials*. Vol. 243. Trans Tech Publications Ltd, 2003.
- [5] Mori, K., S. Maki, and Y. Tanaka. "Warm and hot stamping of ultra high tensile strength steel sheets using resistance heating." *CIRP annals* 54.1 (2005): 209-212.

- [6] Sun, Yuhao, et al. "An experimental investigation on the ductility and post-form strength of a martensitic steel in a novel warm stamping process." *Journal of Materials Processing Technology* 275 (2020): 116387.
- [7] Kolleck, Ralf, et al. "Alternative heating concepts for hot sheet metal forming." *Alternative heating concepts for hot sheet metal forming.* ., 2008. 239-246.
- [8] Kolleck, Ralf, et al. "Alternative heating concepts for hot sheet metal forming." *Alternative heating concepts for hot sheet metal forming.* ., 2008. 239-246.
- [9] Merklein, Marion, et al. "Hot stamping of boron steel sheets with tailored properties: A review." *Journal of materials processing technology* 228 (2016): 11-24.
- [10] Francesco, Gagliardi, Ambrogio Giuseppina, and Filice Luigino. "Incremental forming with local induction heating on materials with magnetic and non-magnetic properties." *Procedia Engineering* 183 (2017): 143-148.
- [11] Kim, Dong Kyu, et al. "Advanced induction heating system for hot stamping." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 99.1 (2018): 583-593.
- [12] Nishibata, Toshinobu, and Nobusato Kojima. "Effect of quenching rate on hardness and microstructure of hot-stamped steel." *Journal of Alloys and Compounds* 577 (2013): S549-S554.
- [13] Bok, Hyun-Ho, et al. "Thermo-mechanical-metallurgical modeling for hot-press forming in consideration of the prior austenite deformation effect." *International Journal of Plasticity* 58 (2014): 154-183.
- [14] Sadeghipour, K., J. A. Dopkin, and K. Li. "A computer aided finite element/experimental analysis of induction heating process of steel." *Computers in industry* 28.3 (1996): 195-205.
- [15] Dong, Hongbao, Yao Zhao, and Hua Yuan. "Effect of coil width on deformed shape and processing efficiency during ship hull forming by induction heating." *Applied Sciences* 8.9 (2018): 1585.
- [16] Resnick, Robert, David Halliday, and Kenneth Krane. "Física Vol. I." *I* (2004).
- [17] Esteve Gómez, Vicente. *Influencia de los componentes parásitos en el análisis y diseño de inversores resonantes paralelo para aplicaciones de calentamiento por inducción.* 1999
- [18] DİZDAR, Haldun, Bülent AYDEMİR, and Cemal VATAN. "Differences of Latest Versions of ISO 6892-1 and ASTM E8 Tensile Testing Standards." *Differences* 1: 4.

Análisis comparativo de la transferencia de calor a través de diferentes muros de mampostería

R.N. Azcanio^{1*}, E.V. Macias Melo¹, K. M. Aguilar Castro¹, I. Hernández-Pérez¹, C.A. de Dios¹

¹División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Carretera Cunduacán - Jalpa de Méndez Km 1, C.P. 86690, Cunduacán, Tabasco

**ruk.nahum@gmail.com*

Área de participación: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica

Resumen

Se realizó un análisis comparativo de la transferencia de calor a través de muros de mampostería. El primer muro es de block macizo y el segundo es de ladrillo de arcilla. La solución del modelo matemático se obtuvo mediante el Método de Volumen Finito (MVF), considerando un flujo de calor bidimensional y condiciones de frontera de Robin en estado transitorio. El desarrollo del método y su solución se llevó a cabo mediante un código computacional desarrollado en Octave. Se consideraron las ecuaciones gobernantes de la transferencia de calor y una conductancia superficial interior y exterior de 8.1 W/m²K y 13.0 W/m²K respectivamente, según la NOM-020-ENER-11. El tiempo de simulación fue de 48 horas obteniendo una diferencia de 1460 s como tiempo de retraso y factores de amortiguamiento <1 y cercano cero. Se encontró que el muro de ladrillo es la mejor opción al obtener una carga térmica de 0.602 kWh.

Palabras clave: Transferencia de calor, Carga térmica, Mampostería.

Abstract

A comparative analysis of heat transfer through masonry walls was carried out. The first wall is made of solid blocks, and the second one is made of clay brick. The solution of the mathematical model was obtained using the Finite Volume Method (FVM), considering a two-dimensional heat flow and Robin boundary conditions in a transient state. The development of the method and its solution was carried out by means of a computational code developed in Octave. The governing equations of heat transfer and an interior and exterior surface conductance of 8.1 W/m²K and 13.0 W/m²K, respectively, according to NOM-020-ENER-11, were considered. The simulation time was 48 hours obtaining a difference of 1460 s as delay time and damping factors <1 and close to zero. The brick wall was the best option by getting a thermal load of 0.602 kWh.

Key words: Heat transfer, Thermal load, Masonry.

Introducción

Las edificaciones tienen como propósito generar un ambiente de confort térmico adecuado sobre las personas que residen en él. La envolvente de la edificación es la frontera que limita la interacción entre el ambiente interior con condiciones de confort con el ambiente externo (paredes, techos y acristalamiento) [1]. En las edificaciones el conocimiento previo sobre el comportamiento térmico de la envolvente da pautas para la estimación de la carga térmica de calefacción o refrigeración, este último en los sistemas *Heating-Ventilation-Air Conditioning* (HVAC). Lo anterior, considerando que las edificaciones son un sector de estudio, debido a que cada año el incremento de la población trae consigo incrementos en la economía y consumo de energía. Por lo que, el ahorro de energía en las edificaciones es un tema global.

En la literatura se han desarrollado varios estudios relacionados con el ahorro en energía analizando las propiedades térmicas de los materiales. Jiaojiao Duan, *et al.*, [2] mencionan que la conductividad térmica, el coeficiente de almacenamiento térmico, la capacidad calorífica específica, la densidad y otros parámetros físicos térmicos de la envolvente de las edificaciones se utilizan ampliamente en el diseño térmico del edificio. Estos parámetros tienen un impacto significativo en el comportamiento del aislamiento térmico y la estabilidad térmica general de los edificios, siendo las paredes la sección más significativa del total de la edificación. De acuerdo con lo reportado por diferentes autores como Asan [3], Duffin y Greg Knowles [4], Asan y Sancaktar [5], Fathipour y Hadidi [6] y Quagraine *et al.*, [7] el tiempo de retraso y el factor de amortiguamiento son características importantes para la determinación de la capacidad de almacenamiento de calor en los diferentes materiales. El factor de amortiguamiento es una amplitud que disminuye de acuerdo con los tipos de materiales y sus espesores en el

muro, mientras que, el tiempo que difiere la onda en propagarse desde una superficie exterior a una superficie interior es denominado como “tiempo de retraso” Asan [3]. Estos parámetros se han reportan en su mayoría de estudios de análisis numéricos, y se han reportado como parámetros que impactan en el ahorro de energía, en la propuesta de diseños eficientes, y en la optimización del espesor de paredes en sus diferentes configuraciones con capas de material aislante. Lo anterior, debido a que de acuerdo al tipo de material y su espesor, se pueden obtener diferentes factores de amortiguamiento y tiempos de retaso.

Por lo cual, en la selección de los materiales utilizados para la construcción de las paredes no solo se debe considerar para la limitación y protección de los usuarios dentro de un recinto, sino también se deben considerar sus propiedades termofísicas para la generación de ambientes confortables y los parámetros del factor de amortiguamiento y tiempo de retraso que afectan a la carga térmica del recinto. En el sector de construcción existen diversos tipos de materiales para construcción y agregados que se pueden incorporar dependiendo de las técnicas de construcción, como son los materiales aislantes. Por lo cual, un estudio de la transferencia de calor a través de las paredes, dan pauta a una correcta selección y diseño térmico de las edificaciones. En el estudio de transferencia de calor se puede determinar el flujo de calor, el comportamiento de la temperatura en las superficie interior y el tiempo en el que ocurre el fenómeno a través de las paredes bajo estudio [8].

La transferencia de calor comprende varios fenómenos y se puede analizar considerando diferentes métodos, como el Método Analítico, Numérico o Experimental. El método analítico permite establecer de forma teórica una solución de la ecuación gobernante bajo las condiciones de frontera del fenómeno analizado (modelo analítico). La solución obtenida será una función continua en el tiempo y espacio de la distribución de temperaturas de la pared que representa el comportamiento de la transferencia de calor sobre dicha muestra. El modelo analítico se puede resolver aplicando diferentes métodos numéricos, como Método de Elemento Finito (MEF), Método de Volumen Finito (MVF), Método de Diferencias Finitas (MDF) y Método de Elementos Discretos (MED). La solución del modelo numérico permitirá obtener una solución discreta en tiempo y espacio que caracterice el comportamiento de la pared de estudio.

Por lo que, en el presente trabajo se plantea el análisis de la transferencia de calor bidimensional en estado transitorio, mediante el MVF considerando dos muros de mampostería con condiciones de frontera de tercera clase. Lo anterior, con la finalidad de comparar los tiempos de retraso, factores de amortiguamiento y su aporte a la carga térmica. Para ello, se utilizará una metodología implícita y se desarrollará un código computacional donde se podrán modificar el tipo y número de materiales de la pared para analizar su rendimiento térmico.

Modelo físico

En la Figura 1 se presenta el modelo físico de dos muros de mampostería que se encuentra expuesta a condiciones de frontera de tercera clase (Robin) o de convección, el cual relaciona para nuestros casos de estudio, un balance entre la convección y la radiación respecto a la conducción en la frontera. La Figura 1A y 1C muestran una imagen ilustrativa de cada muro analizado, mientras que, en la Figura 1B se muestra un muro representativo con las variables y condiciones para la modelación. Los muros están expuestos a una temperatura ambiente interior ($T_{\infty i}$) de comportamiento constante, y al exterior ($T_{\infty e}$) con un comportamiento sinusoidal en el tiempo. La conductancia superficial al interior es $h_i = 8.1 W/m^2K$, y $h_e = 13.0 W/m^2K$ al exterior, de acuerdo con la NOM-020-ENER-2011 [9]. Los muros cuentan con un espesor (H_x) y una altura (H_y), y se fija una condición inicial ($t=0$) de temperatura (T) de 25°C. El modelo físico de ambos muros considera una H_y de 3 m de acuerdo con la CONAVI (2017) [10], cuyas propiedades termofísica para el muro A (ladrillo) y muro C (block) se muestran en la Tabla 1.

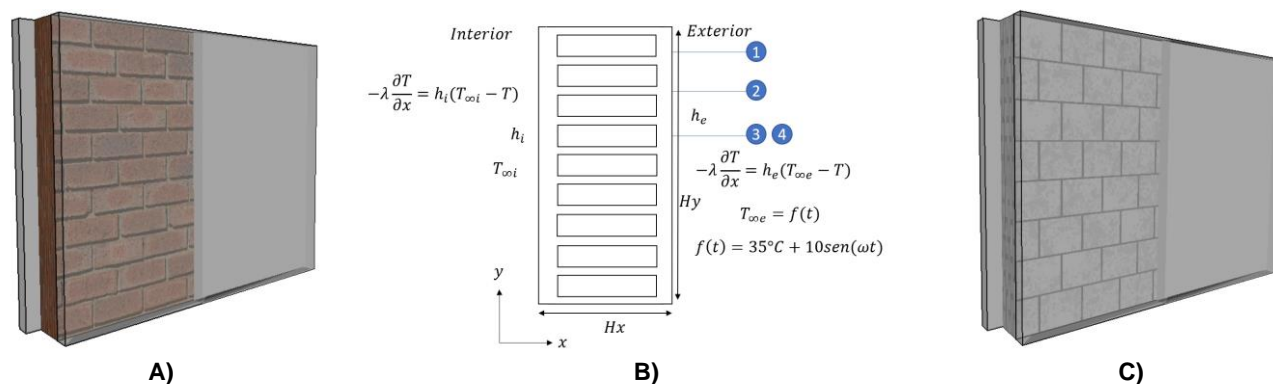


Figura 1. Modelo físico de las muestras de muro, a) ladrillo, b) condiciones y c) block macizo

Tabla 1. Modelos físicos, propiedades térmicas y condiciones de frontera a través de los muros.

N.º	Material de la capa	$Hx(m)$	$\lambda(W/(m^\circ C))$	$\rho(kg/m^3)$	$c_p(J/(kg^\circ C))$
1	Mortero de cemento.	0.02	0.72	1860	780
2	Pega block	0.015	0.72	1860	780
3	Ladrillo de arcilla	0.12	0.72	1920	835
4	Block Macizo	0.12	1.37	2100	880
Exposición del elemento constructivo				$T_{\infty}(^\circ C)$	$h(W/(m^2^\circ C))$
Muro en contacto con el interior				25	8.1
Muro en contacto con el exterior				$35+10\text{sen}(\omega t)$	13

* Hx es el espesor; λ , es la conductividad térmica; ρ , es la densidad; c_p , calor específico; T_{∞} , es la temperatura libre de fluido; h , es la conductancia superficial; ω , es la frecuencia angular diaria igual a $2\pi/86400$
 ** Los datos reportados se tomaron de [11],[12],[13],[14].

Metodología de solución

A partir del modelo de la Figura 1 se establece la solución de las ecuaciones del fenómeno de transferencia de calor dependiente del tiempo para sistemas multicapas en dos dimensiones (2-D). La solución a los casos de estudio de transferencia de calor a través de los muros de mampostería se abordó aplicando el MVF. La Ecuación (1) expresa la ecuación gobernante de Conducción de Calor en 2-D.

$$\frac{\partial \rho c_p T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + S \quad \begin{cases} 0 < x < Hx \\ 0 < y < Hy \end{cases} \quad (1)$$

Donde ρ denota la densidad (Kg/m^3); c_p es el calor específico (J/kgK); T es la temperatura (K); t es el tiempo (s); λ es la conductividad térmica ($\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$); Hx y Hy son las longitudes del sistema (m) en dirección x y y , respectivamente; y S es el término fuente el cual indica la tasa de generación de calor por unidad de volumen.

El MVF nos permite discretizar a la Ecuación (1) y dar una solución numérica, a partir de fijar un número de puntos en el sistema en el cual se construirá una distribución de temperatura y se obtendrán los valores de esta. Esta distribución de temperatura se define a partir de la discretización del dominio físico, donde la transferencia de calor se lleva a cabo en subdominios que conforman una malla de nodos interconectados. Para un sistema bidimensional la discretización se representa en la Figura 2. Como se puede observar, se tiene un punto P de la malla y se consideran 4 nodos vecinos, los cuales se denotan por N (Norte), S (Sur), E (Este) y W (Oeste), cuyas

interfaces o fronteras entre los volúmenes están representadas por “n, s, e y w”. Así también, el espesor del volumen de control en la dirección y esta denotado por Δy y en la dirección x por Δx .

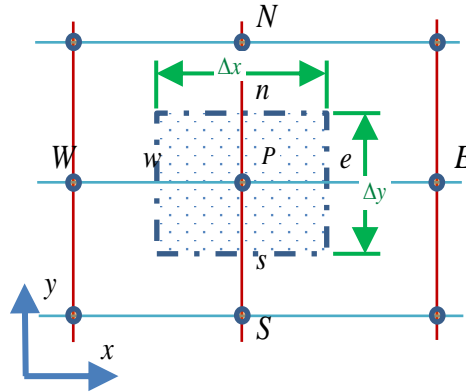


Figura 2. Malla de discretización por el MVF en 2-D.

Llevando a cabo una integración en la Ecuación (1) en el volumen de control considerado para un estado transitorio se obtiene la Ecuación (2).

$$\frac{\rho C_p \Delta x \Delta y}{\Delta t} (T_P - T_0) = \left[\lambda_e \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_e - \lambda_w \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_w \right] + \left[\lambda_n \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_n - \lambda_s \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_s \right] + \bar{S} \Delta x \Delta y \quad (2)$$

Haciendo una evaluación de las derivadas parciales de T en los puntos “n, s, e y w” se obtiene las Ecuaciones (3)-(6).

$$\lambda_e \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_e = \lambda_e \frac{(T_E - T_P)}{(\delta x)_e} \quad (3) \qquad \lambda_n \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_n = \lambda_n \frac{(T_n - T_P)}{(\delta y)_n} \quad (5)$$

$$\lambda_w \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_w = \lambda_w \frac{(T_P - T_w)}{(\delta x)_w} \quad (4) \qquad \lambda_s \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_s = \lambda_s \frac{(T_P - T_s)}{(\delta y)_s} \quad (6)$$

Remplazando estos resultados en la Ecuación (2), se obtiene la Ecuación (7).

$$\frac{\rho C_p \Delta x \Delta y}{\Delta t} (T_P - T_0) = \frac{\lambda_e (T_E - T_P)}{(\delta x)_e} - \frac{\lambda_w (T_P - T_w)}{(\delta x)_w} + \frac{\lambda_n (T_n - T_P)}{(\delta y)_n} - \frac{\lambda_s (T_P - T_s)}{(\delta y)_s} + \bar{S} \Delta x \Delta y \quad (7)$$

Simplificando la Ecuación (7) se obtiene la ecuación de coeficientes agrupados, Ecuación (8).

$$a_P T_P = a_E T_E + a_W T_W + a_N T_N + a_S T_S + b \quad (8)$$

Donde:

$$a_E = \frac{\lambda_e \Delta y}{(\delta x)_e}; \quad a_w = \frac{\lambda_w \Delta y}{(\delta x)_w}; \quad a_N = \frac{\lambda_n \Delta x}{(\delta x)_n}; \quad a_s = \frac{\lambda_s \Delta x}{(\delta x)_s}; \quad a_P^0 = \frac{\rho C_p \Delta x \Delta y}{\Delta t}; \quad b = S_0 \Delta x \Delta y + a_P^0 T_P^0;$$

$$a_P = a_E + a_W + a_N + a_S - S_P \Delta x \Delta y$$

El conjunto de ecuaciones simultaneas obtenidas de la discretización de la Ecuación (8) y las condiciones de frontera se resuelve de forma iterativa mediante el algoritmo de Thomas o también llamado TDMA (*Tridiagonal Matrix Algorithm*). La matriz generada del conjunto de ecuaciones simultaneas es pentadiagonal y la técnica iterativa aplicada al sistema de ecuaciones simultaneas fue línea por línea con direcciones alternantes LBL-ADI. Mediante el software Octave se obtiene la solución al sistema de ecuaciones. En la Figura 3 se presenta el algoritmo de solución. El algoritmo inicia introduciendo las propiedades térmicas de los materiales, y dimensiones del dominio de estudio. Posteriormente, se establecen las condiciones de frontera impuestas de tercera clase, y la condición inicial. Con lo anterior, se obtiene la solución de las ecuaciones discretizas y se obtiene el grafico del comportamiento de la temperatura a través de los muros de mampostería; esto para determinar el flux de calor a través del muro, el tiempo de retraso (Ecuación 9), el factor de amortiguamiento (Ecuación 10) y las cargas térmicas (Ecuación 11) para cada muestra de muro.

$$TR = t(T_{se_max}) - t(T_{si_max}) \quad (9)$$

Donde TR denota el tiempo de retraso en (s); $t(T_{se_max})$ es el tiempo en el cual se encuentra la máxima temperatura superficie exterior (s); $t(T_{si_max})$ es el tiempo en el cual se encuentra la máxima temperatura superficie interior (s).

$$FA = \frac{AT_{si}}{AT_{se}} \quad (10)$$

Donde FA denota el factor de amortiguamiento (adimensional); AT_{si} es la amplitud de onda máxima de la temperatura superficie interior; AT_{se} es la amplitud de onda máxima de la temperatura superficie exterior.

$$Q = \Sigma q \Delta t \quad (11)$$

Donde Q denota la carga térmica diaria (kWh); q es el flujo de calor (kW); Δt es el incremento de tiempo en horas (h).

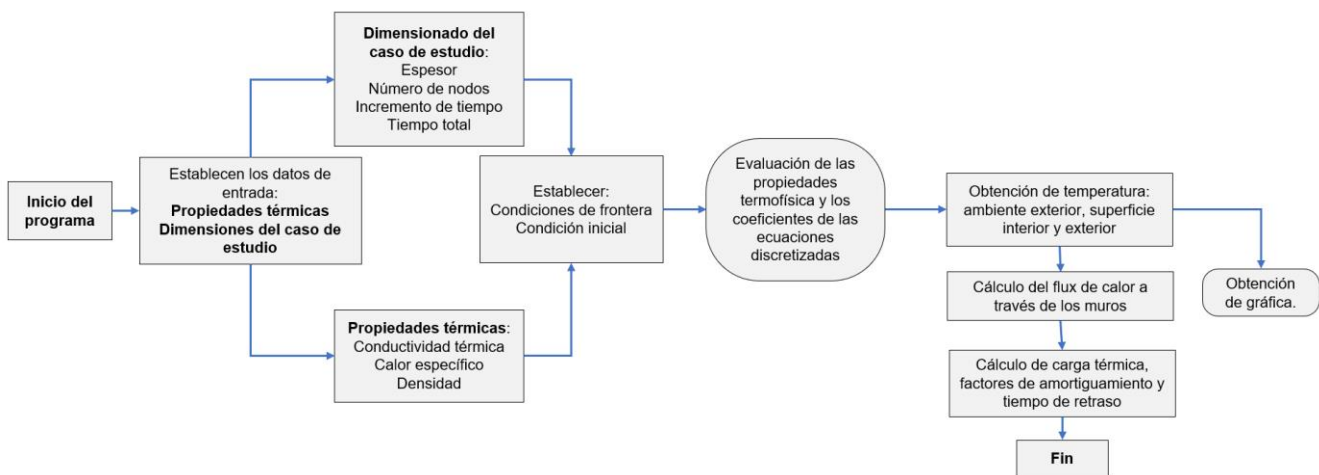


Figura 3. Metodología de solución.

Resultados y discusión

En la Figura 4A y 4B, se muestran el comportamiento de la distribución de la temperatura superficial interior (T_{si}) y exterior (T_{se}) a través de los espesores en los muros de mampostería de block y ladrillo, esto durante 2 días (172,800 segundos). Como se puede observar, en ambos muros se presenta un comportamiento similar donde $T_{si} < T_{se}$. En la Figura 5A y 5B, se muestran las distribuciones de las temperaturas superficiales (T_{si} y T_{se}) y temperatura ambiente ($T_{\infty e}$) para cada muro en función del tiempo. Para el caso de las temperaturas superficiales a través de los muros, se obtuvo una temperatura superficial al interior (T_{si}) mayor a través del muro de block. Mientras que, la mayor temperatura superficial al exterior (T_{se}) se obtuvo a través del muro de ladrillo. En el caso de la temperatura ambiente al exterior, para ambos muros, se observó un comportamiento similar de forma sinusoidal con diferencias poco significativas alcanzando un máximo de 40°C.

Por otra parte, en la Tabla 3, se presenta un resumen comparativo de los valores de carga térmica, tiempo de retraso y factor de amortiguamiento. De acuerdo con Kontoleon y Eumorfopoulou [15], la estimación del factor de amortiguamiento y el tiempo de retraso, nos brindan un panorama de las condiciones de confort térmico desarrolladas al interior y la posibilidad de disminuir la demanda de carga térmica desde un punto de vista energético. En la Tabla 2 se puede observar que la mayor ganancia de calor fue a través del muro de block, esto debido al efecto combinado de la capacitancia térmica y la conductividad de los materiales que la componen. Sin

embargo, para el tiempo de retraso fue mayor para el muro de ladrillo, obteniéndose una diferencia de 1460 segundo. Esta diferencia se atribuye a que el ladrillo tiene una mayor capacidad de almacenamiento de energía. En cuanto al factor de amortiguamiento este puede tomar valores entre 0 y 1, donde 0 se interpreta como la temperatura al interior se encuentra con una amplitud de oscilación similar a la temperatura exterior, y 1 significa que se ha amortiguado por completo la oscilación de la temperatura al interior tomando un valor constante. De acuerdo con los resultados obtenidos, el muro de ladrillo es el que amortigua más la oscilación de temperatura, y, además, presenta el mayor tiempo de retraso.

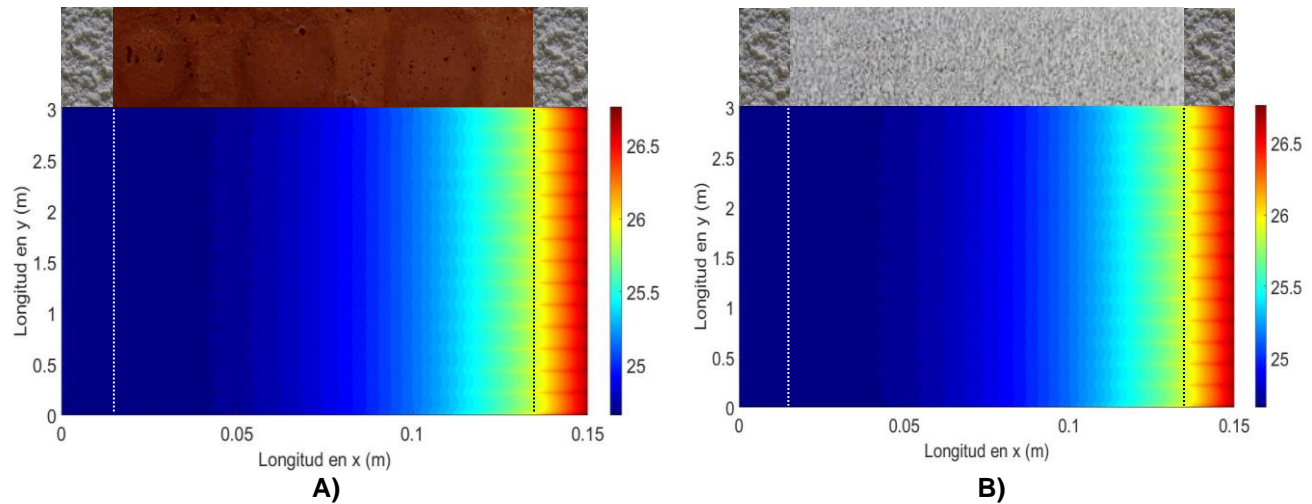


Figura 4. Comportamiento de la distribución temperatura a través del muro de block (A) y muro de ladrillo (B).

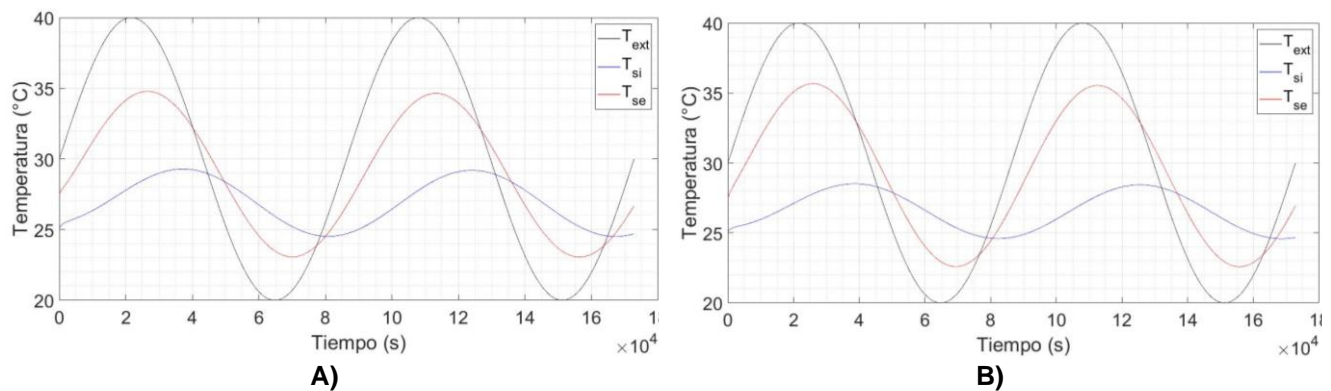


Figura 5. Gráfica del comportamiento de las temperaturas a través del muro de block (A) y muro de ladrillo (B).

Tabla 2. Resumen comparativo de los valores de carga térmica, tiempo de retraso y factor de amortiguamiento.

Tipo de muro	Carga térmica (kWh)	Tiempo de retraso (s)	Factor de amortiguamiento
Block	0.721	8360	0.226
Ladrillo	0.602	9820	0.145

Los resultados obtenidos de los factores de amortiguamiento y tiempos de retraso del presente estudio se compararon con los resultados publicado en la literatura por Asan [3], Asan and Sancaktar [5] Fathipour y Hadidi [6] y Quagraine *et al.*, [7], como se muestra en la Tabla 3. Como se puede observar, el factor de amortiguamiento del presente estudio fue de 0.226 para el muro de block y 0.145 para el muro de ladrillo, siendo estos valores cercanos de los reportado por Asan [3] para un block (0.343) y para un ladrillo (0.312). Como puede observarse, los valores del factor de amortiguamiento y tiempo de retraso reportados por otros autores presentan variaciones. Estas diferencias se pueden atribuir a que algunos autores consideraron la adición de material aislante en su estudio y otros solo consideraron el estudio del propio material. También, puede atribuirse a los valores de las propiedades termofísicas utilizadas para las paredes y a las condiciones meteorológicas imperantes.

Por otro lado, los valores del tiempo de retraso obtenidos en este estudio se encontraron entre 2 y 3 horas. Estos valores están dentro del rango de valores obtenidos por Asan [3], Fathipour y Hadidi [6] y Quagraine *et al.*, [7] con valores que oscilan entre 2.32 h y 2.72 h para block y ladrillo respectivamente. Las diferencias entre los valores obtenidos entre los autores pueden atribuirse a los valores considerados en el espesor del muro. Sin embargo, a pesar de las diferencias encontradas con los estudios reportados, los valores de los parámetros obtenidos en el presente estudio se encuentran dentro del rango obtenido por otros autores.

Tabla 3. Resumen comparativo de los valores de tiempo de retraso y factor de amortiguamiento.

Autor	Tiempo de retraso (h)	Factor de amortiguamiento
Asan [3]	2.83 – 2.88	0.312 - 0.343
Asan y Sancaktar [5]	0.03 - 1.23	0.140 - 0.730
Fathipour y Hadidi [6]	0.40 - 7.00	0.0712 - 0.232
Quagraine <i>et al.</i> , [7]	2.00 - 4.00	0.199 - 0.327
Presente estudio	2.32 – 2.72	0.145 - 0.226

Conclusión

En este trabajo se presentó la solución numérica mediante el MVF a través de un código computacional para dos muros de mampostería con un flujo de calor bidimensional en estado transitorio, a partir de lo cual se logró comparar la carga térmica, tiempo de retraso y factor de amortiguamiento para dos muros de mampostería. Los resultados del estudio mostraron que se obtiene una mayor ganancia de calor al interior a través de un muro con block, por lo que, la configuración más adecuada es el muro con ladrillo, debido a que mantiene una T_{si} menor. Estos resultados muestran que solo el valor de la conductividad térmica no define completamente el comportamiento del muro bajo condiciones transitorias periódicas. El estudio del factor de amortiguamiento y el tiempo de retraso son útiles al momento de realizar un diseño térmico de las paredes de un recinto, donde un factor de amortiguamiento bajo y un gran desfase temporal pueden indicar la reducción de las variaciones de temperatura del exterior al interior, con la finalidad de obtener temperaturas al interior con comportamientos constantes, logrando niveles de confort favorables [16].

El presente trabajo da las pautas para seguir realizando comparaciones con diferentes configuraciones de espesores y materiales, e incluso incluir considerar técnicas pasivas de calefacción o refrigeración en viviendas contribuyendo al ahorro de energía.

Referencias

- [1] Debasish Chowdhury, Subhasis Neogi, "Thermal performance evaluation of traditional walls and roof used in tropical climate using guarded hot box", *Construction and Building Materials*, Vol. 218, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.032>.
- [2] Jiaojiao Duan, Nianping Li, Jinqing Peng, Chenhua Wang, Qingqing Liu, "Full-response model of transient heat transfer of building walls using thermoelectric analogy method", *Journal of Building Engineering*, Vol. 46, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103717>.
- [3] H. Asan, "Numerical computation of time lags and decrement factors for different building materials", *Building and Environment*, Volume 41, 2006, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.02.020>.
- [4] R.J. Duffin, Greg Knowles, "A passive wall design to minimize building temperature swings", *Solar Energy*, Volume 33, 1984, [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(84\)90163-4](https://doi.org/10.1016/0038-092X(84)90163-4).
- [5] H. Asan, Y.S. Sancaktar, "Effects of Wall's thermophysical properties on time lag and decrement factor", *Energy and Buildings*, Volume 28, 1998, [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(98\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(98)00007-3).
- [6] Reza Fathipour, Amin Hadidi, "Analytical solution for the study of time lag and decrement factor for building walls in climate of Iran", *Energy*, Volume 134, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.06.009>.
- [7] Kojo Adom Quagraine, Emmanuel Wendsongre Ramde, Yesueneagbe Atsu Kwabla Fiagbe, David Ato Quansah, "Evaluation of time lag and decrement factor of walls in a hot humid tropical climate", *Thermal*

- Science and Engineering Progress, Volume 20, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100758>.
- [8] Anbang Li, Xinhua Xu, Junlong Xie, Yongjun Sun, "Development of a simplified heat transfer model of hollow blocks by using finite element method in frequency domain", *Energy and Buildings*, Vol. 111, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.09.004>.
- [9] NOM-020-ENER-2011, "Eficiencia energética en edificaciones. Envoltante de edificios para uso habitacional", México, 2011.
- [10] CONAVI, "Código de Edificación de Vivienda", México, 2017, [En línea]. [CEV_2017_FINAL.pdf \(www.gob.mx\)](#)
- [11] Y. A. Cengel, M. A. Boles y M. Kanoglu, "Termodinámica", 9 ed., México: Mcgraw-Hill/Interamericana 2019.
- [12] T. L. Bergman, A. S. Lavine, F. P. Incropera y D. P., "Fundamentals of heat and mass transfer", 8 ed., United States of America: Wiley, 2018.
- [13] CEMEX International Holding AG, "Construrama RM", 2022, [En línea]. <https://www.construrama.com/ruma/catalogo/materiales-de-construccion/block-y-derivados/barroblock/tabique-rojo-recocido-6-x-12-x-24-pieza/p/0301040005>.
- [14] Industrial Bloquera Mexicana, "Block liso macizo de concreto", Industrial Bloquera, 2020,[En línea]. <https://www.industrialbloquera.com.mx/productos/blocks-de-concreto/block-liso-macizo-de-concreto-15x20x40>.
- [15] K.J. Kontoleon, E.A. Eumorfopoulou, "The influence of wall orientation and exterior surface solar absorptivity on time lag and decrement factor in the Greek región", *Renewable Energy*, Volume 33, 2008, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.09.008>.
- [16] Recep Yumrutaş, Mazhar Ünsal, Mehmet Kanoğlu, "Periodic solution of transient heat flow through multilayer walls and flat roofs by complex finite Fourier transform technique", *Building and Environment*, Volume 40, 2005, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.09.005>.

Estudio térmico-estructural de un Ventilador Recirculador de Gases de un Generador de Vapor

A. Ramírez Monroy¹, F. J. Santander Bastida^{2*}, P. Yáñez Contreras³, R. Martín del Campo Vázquez⁴,
J. M. Medina Flores⁵

¹Universidad Politécnica de Guanajuato, 18039034@upgto.edu.mx

²Universidad Politécnica de Guanajuato, fsantander@upgto.edu.mx

³Universidad Politécnica de Guanajuato, pyanez@upgto.edu.mx

⁴Universidad Politécnica de Guanajuato, rdelcampo@upgto.edu.mx

⁵Tecnológico Nacional de México en Celaya, martin.medina@itcelaya.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica

Resumen

El presente artículo trata del estudio térmico-estructural de un VRG (Ventilador Recirculador de Gases), el cual es un equipo auxiliar perteneciente a un Generador de Vapor de una Central Termoeléctrica Convencional. Se modeló en SolidWorks y posteriormente se importó dentro de ANSYS donde se realizaron simulaciones de fluidos, térmicas y estructurales en condiciones normales de operación a 378°C y posteriormente en condiciones críticas de 1000°C. El material que se utilizó en los estudios fue el acero AISI 1022, posteriormente para mejorar el comportamiento estructural del VRG bajo condiciones críticas se cambió el material por la súper-aleación Hastelloy X y se agregó un recubrimiento térmico. Los resultados obtenidos mostraron que bajo condiciones críticas de operación el VRG es muy susceptible a presentar una falla estructural, pero con la incorporación del nuevo material y la barrera térmica se incrementó su confiabilidad logrando una disminución en el nivel máximo de esfuerzos residuales de 10.019 a 5.8109 MPa.

Palabras clave: ventilador recirculador de gases, simulación, mejora estructural, recubrimiento térmico)

Abstract

This project deals with the thermal-structural study of a GRF (Gas Recirculation Fan), which is an auxiliary equipment belonging to a Steam Generator of a Conventional Thermoelectric Power Plant. It was modeled in SolidWorks and subsequently imported into ANSYS where fluid, thermal and structural simulations were performed under normal operating conditions at 378°C and later under critical conditions of 1000°C. The material that was modified in the studies was AISI 1022 steel. Later, to improve the structural behavior of the VRG under critical conditions, the material was changed to the super-alloy Hastelloy X and a thermal coating was added. The results obtained showed that the critical operating conditions of the VRG are very susceptible to presenting a structural failure, but with the incorporation of the new material and the thermal barrier, its reliability is increased, achieving a decrease in the maximum level of residual stresses from 10.019 to 5.8109 MPa.

Key words: gas recirculation fan, simulation, structural improvement, thermal coating

Introducción

La energía eléctrica producida en México llega a más del 97% de la población nacional y es producida mediante procesos de generación termoeléctrica convencional, carboeléctrica, turbo gas, combustión interna, nucleoelectrica, ciclo combinado y geotérmica, entre otros. En particular, la termoeléctrica convencional genera el 17% de la energía eléctrica total consumida en nuestro país, por lo que el generador de vapor del proceso termoeléctrico y el equipo auxiliar de este son prioridades de la planta generadora de energía [1].

Los Ventiladores Recirculadores de Gases o VRG (Figura 1), tienen una función primordial en el proceso de generación convencional, siendo operados y monitoreados por personal de campo y en una sala de control en todo momento. Por lo tanto, los equipos son susceptibles del error humano, además de las fallas inherentes del equipo auxiliar, siendo el más importante la exposición del VRG a temperaturas elevadas de hasta 1000°C, causando daños catastróficos en este tipo de equipos, lo cual genera también gastos millonarios muy importantes para la empresa generadora de energía y por supuesto la falta de suministro de energía eléctrica a la población.

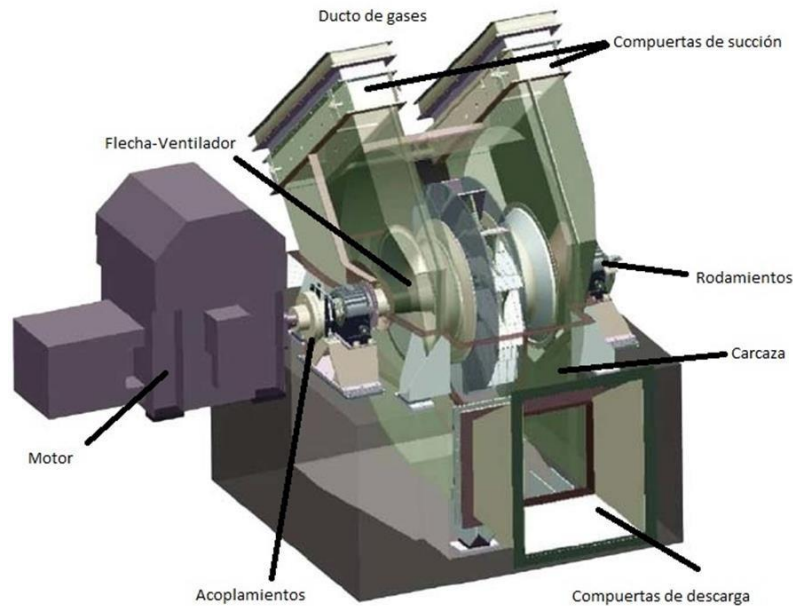


Figura 1. Ventilador Recirculador de Gases (Fuente:researchgate.net).

Hoy en día el uso de softwares especializados, junto con los equipos de cómputo de alto rendimiento se han convertido en una herramienta muy poderosa con la cual se puede diseñar, simular, probar y hasta predecir eventos, en equipos auxiliares como el VRG. En el presente trabajo, empleando el software ANSYS, se simulan las condiciones normales de operación de un VRG y se contrastan con los datos obtenidos de la simulación de operación del VRG en condiciones de alta temperatura. Por último, se analizan los resultados después de aplicar un recubrimiento o barrera térmica a la superficie del VRG, lo cual es una estrategia ampliamente utilizada en otros equipos como por ejemplo turbinas de gas y motores de combustión interna para resistir eficientemente las altas temperaturas [2-6].

Metodología

El modelado es un arte basado en la habilidad para visualizar interacciones físicas, para lo cual se pone en acción todos los conocimientos básicos y aplicados de problemas físicos, de elementos finitos y de algoritmos de solución. La dificultad principal aparece cuando el usuario de la computadora no entiende la acción física y las condiciones de frontera de la estructura actual, y las limitaciones de la teoría aplicable para preparar un modelo satisfactorio [7].

En el presente trabajo se utilizó SolidWorks® en su versión 2018, para modelar el VRG y el software ANSYS® versión 2019R2 para realizar la simulación. La simulación del VRG se llevó a cabo en las condiciones de operación normal temperatura de 378°C, después se llevó a cabo la simulación a 1000°C y, finalmente, se adicionó una barrera térmica y se simuló nuevamente a 1000°C.

A continuación, se muestra la metodología por pasos para realizar el modelado correspondiente:

1. Modelar la flecha, ventilador, mamelón y carcasa del VRG empleando el software de SolidWorks®.
2. Ensamblar todos los componentes del ventilador previamente dibujados en el software SolidWorks® y guardar el archivo en el formato *parasolid.txt*.
3. Modelar el VRG en las condiciones normales de operación.
4. Realizar un análisis de fluidos para encontrar la distribución de temperaturas en el VRG a la temperatura de 378°C (Temperatura normal de operación).
5. Realizar un análisis en estado estable térmico para encontrar la distribución de temperaturas en el VRG.
6. Simular el comportamiento estructural del VRG con las temperaturas del análisis de fluidos y la solución del análisis térmico.
7. Repetir los pasos del 4 al 6 utilizando una temperatura de 100°C (Temperatura crítica de operación).
8. A partir de los resultados obtenidos en el paso 7, proponer mejoras en el VRG para mejorar su comportamiento estructural bajo temperaturas críticas de operación.

En la Tabla 1 se muestran las propiedades y factores de cada material empleados para el análisis térmico-estructural [8-13].

Tabla 1. Propiedades y factores del VRG.

Propiedad	Material				
	AISI 1022	Hastelloy X	PtAl	Al ₂ O ₃	YSZ
Densidad [g/cm^3]	7.9	8.22	6.25	3.75	6.1
Conductividad térmica [W/mK]	52	9.1	16.6	20	1.8
Módulo de elasticidad [GPa]	190	205	182	340	200
Coefficiente de Poisson	0.29	0.328	0.3	0.25	0.29
Resistencia a la fluencia [MPa]	355	324	-	-	-
Resistencia última a la tensión [MPa]	515	720	-	-	-
Espesor [μm]	-	-	500	10	2

Tabla 2. Datos del ventilador.

Datos	Valor
Flujo del VRG	105.49 kg/seg
Temperatura del aire en condición de operación normal	378°C
Temperatura del aire en condición de operación crítica	1000°C

Resultados y discusión

Simulación del VRG con el material AISI 1022 a una temperatura de 378°C.

En la Figura 2 se muestran los resultados de desplazamiento en el rotor, los cuales corresponden a las condiciones normales de operación, las variables de entrada fueron flujo y temperatura (Tabla 2). Se observa que el desplazamiento máximo se encuentra en el impulsor con 0.2575 mm en su valor máximo y en flecha se tienen valores de 0 a 0.0286 mm, siendo este intervalo aceptable en este tipo de equipos.

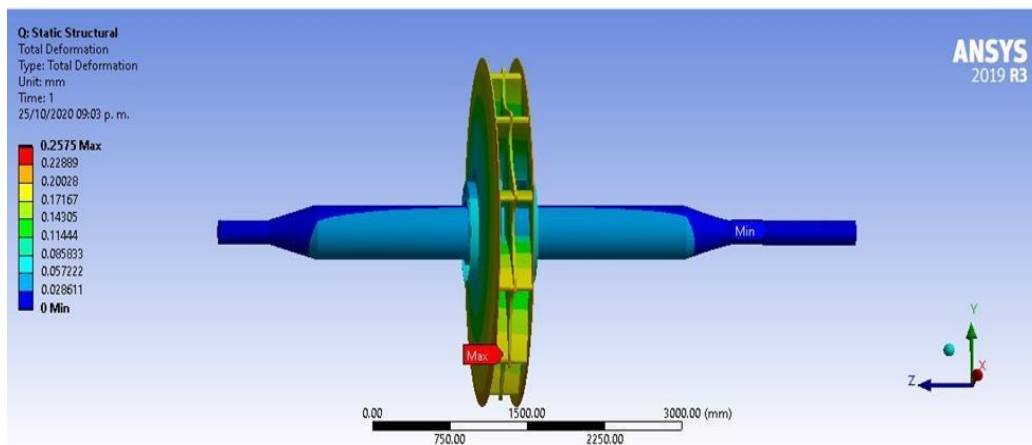


Figura 2. Deformación del rotor.

De igual manera se calcularon los esfuerzos de Von-Mises como se muestra en la Figura 3, los cuales presentan un valor mínimo cercano a 0 MPa, mientras que el valor máximo es de 9.6442 MPa (zona de los rodamientos). Estos valores representan un valor muy pequeño comparado con la resistencia a la fluencia (Tensile Yield Strength) del material que es de 355 MPa. Por otro lado, los esfuerzos principales calculados en la parte central del impulsor tienen un valor mínimo de -1.6987 MPa y un máximo en la flecha del ventilador lado cople de 7.3242 MPa.

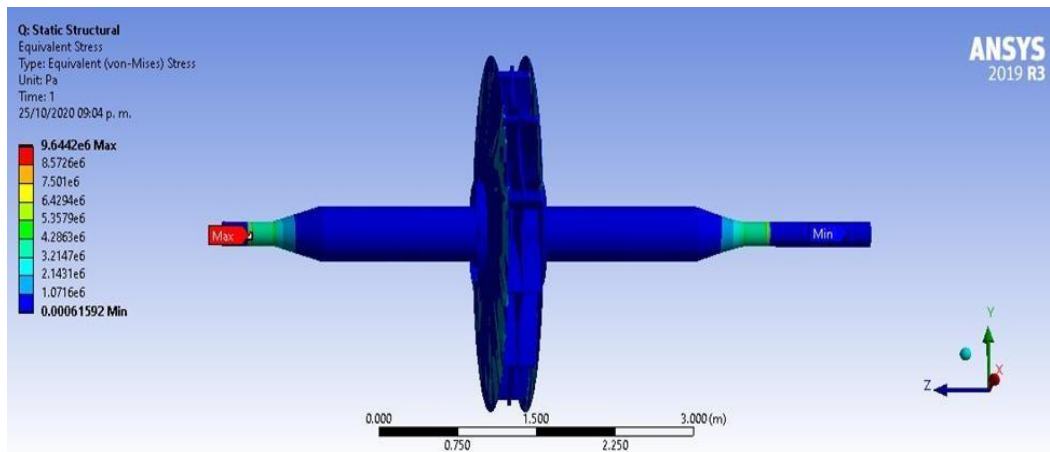


Figura 3. Esfuerzos equivalentes Von-Mises

Simulación del VRG con el material AISI 1022 a una temperatura de 1000°C.

Una vez concluidos los análisis del VRG a su temperatura de operación normal, se llevó a cabo la simulación considerando ahora una temperatura de operación crítica de 1000°C y empleando la misma metodología. Se realizó el análisis estructural, la deformación se observa principalmente en el impulsor con 0.18249 mm en su valor máximo y en la flecha se tiene una deformación cercana a 0. Comparando este análisis, con el análisis análogo, llevado a cabo en condiciones normales de operación, donde se obtuvo un valor de 0.2575 mm el valor registrado a 1000°C es menor. Sin embargo, se observa el mismo patrón de comportamiento de la flecha y el impulsor (Figura 4).

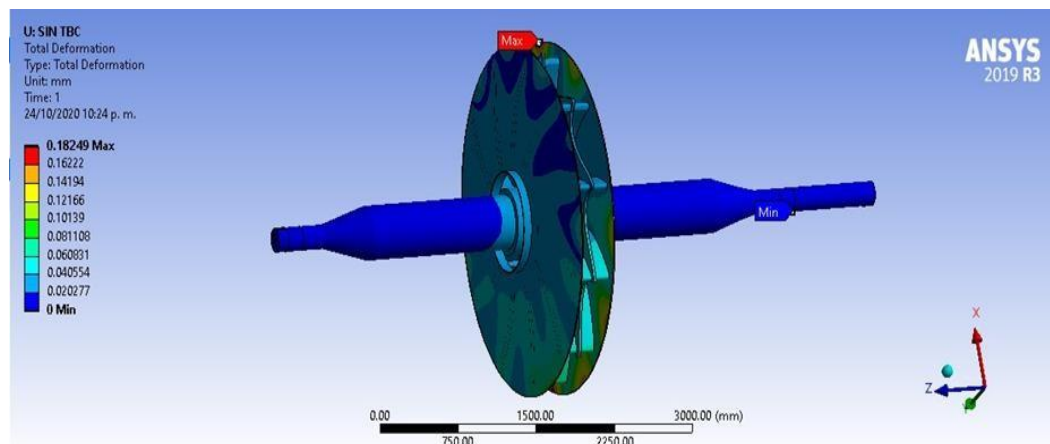


Figura 4. Deformación del rotor a 1000°C.

En la Figura 5, se muestra el resultado de los esfuerzos de Von-Mises, los cuales presentan un valor mínimo cercano a 0 MPa en la flecha, mientras que el valor máximo es de 9.8799 MPa en la zona del impulsor. Comparando este análisis, con el análisis análogo, llevado a cabo en condiciones normales de operación, podemos ver que el valor máximo 9.6442 MPa comparado con el resultado del cálculo actual es de 9.8799 MPa, indica un incremento mínimo en los esfuerzos a pesar del incremento considerable de temperatura, y de igual manera al comparar la resistencia a la fluencia (Tensile Yield Strength) del material que es de 355 MPa no representa un valor significativo. No obstante, podemos observar que la zona del máximo esfuerzo en estas condiciones es distinta, moviéndose de la zona de los rodamientos a las zonas del impulsor. Por otro lado, los esfuerzos principales calculados tienen un valor mínimo y máximo en la parte central del impulsor con un valor -2.9704 MPa y 10.89 MPa, respectivamente. Comparando este análisis con el análisis anterior hubo un incremento en su valor máximo pasando de 7.3242 MPa a 10.89 MPa, de igual manera para su valor mínimo, también se registró un cambio de -1.6987 MPa a -2.9704 MPa. Se puede observar, que el esfuerzo máximo principal que se encontraba en la flecha a una temperatura de 378°C se encuentra ahora sobre el impulsor a 1000°C.

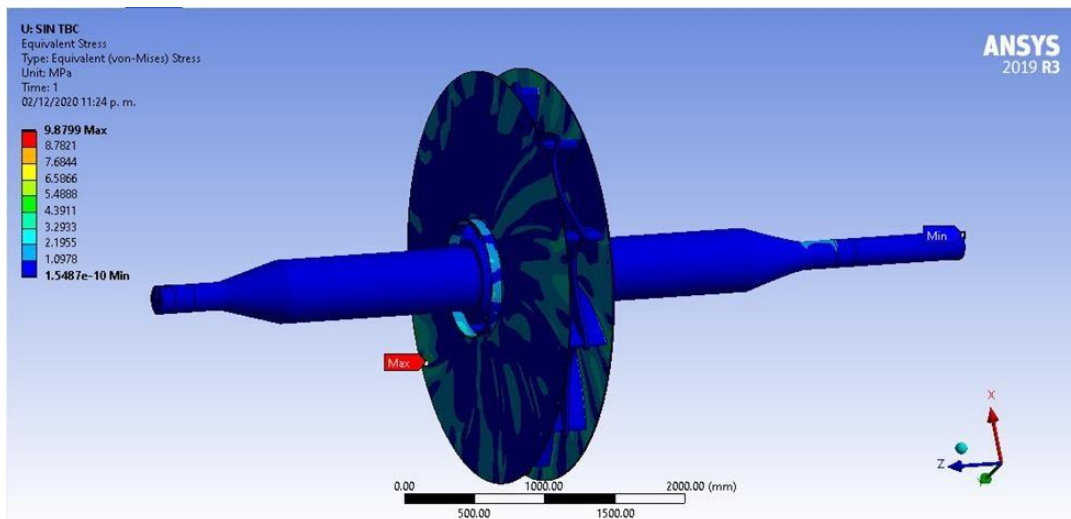


Figura 5. Esfuerzos equivalentes Von-Mises a 1000°C.

Simulación del VRG con el material Hastelloy X a una temperatura de 1000°C con una barrera térmica.

La deformación del rotor en este caso presentó el mismo patrón sobre el ventilador encontrado previamente sobre el rotor construido en Hastelloy X sin barrera térmica. Sin embargo, si se observa una mejora en el rotor construido en Hastelloy X con barrera térmica, ya que la deformación de este disminuyó a un valor de 0.12573 mm, con una diferencia de 0.04256 mm respecto al Hastelloy X sin barrera térmica (Figura 6).

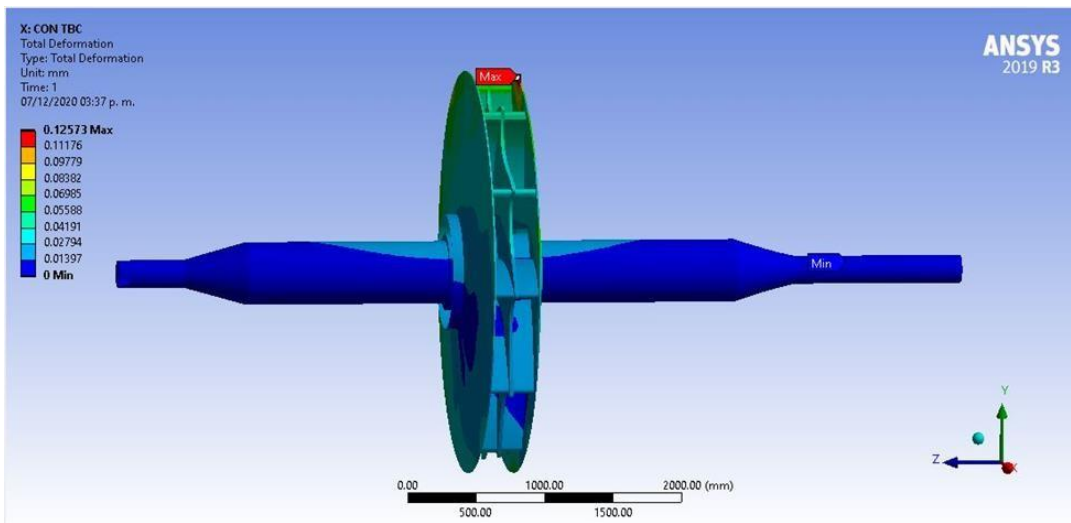


Figura 6. Deformación del rotor con barrera térmica.

Los esfuerzos de Von-Mises para este nuevo rotor se muestra en la Figura 7, los cuales presentan un valor mínimo cercano a 0 MPa sobre la flecha y un valor máximo de 5.8109 MPa en el impulsor. Comparando este resultado, con el análisis hecho con Hastelloy X sin barrera térmica, bajo las mismas condiciones, podemos observar una reducción considerable de esfuerzos de 10.019 a 5.8109 MPa, con una mejora en los esfuerzos de 4.2081 MPa. Como se esperaba, se tiene una buena respuesta con el material propuesto ya que no solo respondió bien bajo las condiciones normales y críticas, si no que al haber implementado la barrera térmica se logró una reducción en los esfuerzos mecánicos sobre el rotor a 1000°C.

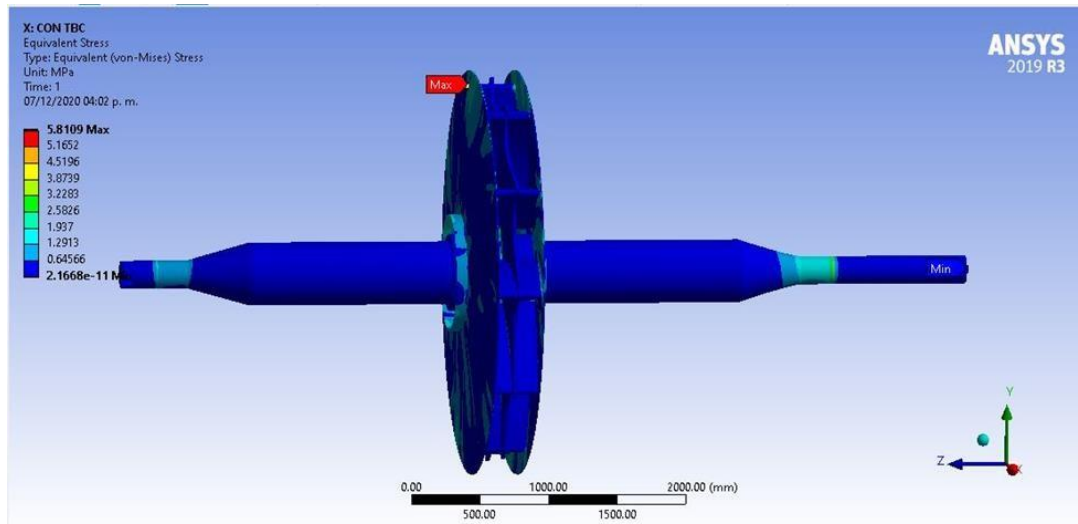


Figura 7. Deformación del rotor con barrera térmica.

Durante la última década algunos investigadores han estudiado y utilizado los recubrimientos de barrera térmica, para mejorar la durabilidad de componentes que están expuestos a alta temperatura. [14-20].

Trabajo a futuro

Es necesario realizar los estudios estructurales de los componentes auxiliares del VRG, dentro de los cuales se encuentran las chumaceras, guardas y soportes.

Conclusiones

El presente trabajo marca un precedente para mejorar la confiabilidad de elementos críticos de operación necesarios en la producción de energía eléctrica de las Centrales Termoeléctricas. Con esto se logró obtener una metodología reproducible para simular y analizar la resistencia estructural de un Ventilador Recirculador de Gases (VRG) bajo condiciones de trabajo normales y críticas utilizando ANSYS®. Además, se encontraron los puntos más susceptibles de falla en el rotor del ventilador, los cuales son el área o zona que está en contacto de los gases con el rotor del ventilador a 1000°C con el material AISI 1022.

Al emplear la aleación Hastelloy X en el VRG se obtuvo una mejora sustancial en el funcionamiento del ventilador. Con base en los análisis realizados a 378°C y 1000°C sobre el rotor construido con el material Hastelloy X se encontró que su comportamiento es muy similar al encontrado con el rotor construido en AISI 1022, por lo tanto, la super-aleación Hastelloy X es un material viable para la construcción del rotor. Adicionalmente, a diferencia del material AISI 1022, el material Hastelloy X si permite la inclusión de una barrera térmica.

Al utilizar el material Hastelloy X y la barrera térmica en el VRG de un Generador de Vapor permitió incrementar la confiabilidad y disminuir el nivel máximo de esfuerzos residuales de 10.019 a 5.8109 MPa. Lo cual indica las propiedades físicas del VRG se mejoran de manera importante.

Aunque es necesario realizar las pruebas experimentales reales con los cambios propuestos al VRG, desafortunadamente esto se vuelve prácticamente imposible, ya que son componentes muy grandes y de un alto costo, lo cual repercute en la desventaja de no poder validar los resultados obtenidos en las simulaciones. Además, aunque la desventaja de utilizar el material Hastelloy X y la incorporación de la barrera térmica provoque un alto costo en la manufactura del VRG, estos costos son mucho menores a las pérdidas económicas que se generan por dejar de producir energía eléctrica por el paro de un Generador de Vapor en una Central Termoeléctrica.

Agradecimientos

A la Universidad Politécnica de Guanajuato (UPG) y a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), por permitir la realización de este proyecto.

Referencias

- [1] SENER. (2018-2032). PRODESEN (Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional). SENER.
- [2] Yañez-Contreras, P., Barceinas-Sanchez, J., Poblano-Salas, C., Medina-Flores, J., Garcia-Garcia, A., Dominguez-Lopez, I. (2016). STUDY OF THE EVOLUTION OF RESIDUAL STRESSES DUE TO GLASSY DEPOSITS (CMAS) ATTACK IN THERMAL BARRIER COATINGS. DYNA, 91(5). 554-559. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7907>.
- [3] Yañez-Contreras, P.; León-Rodríguez, M.; Santander-Bastida, F.J.; Medina-Flores, J.M.; Jiménez-García, J.A.; Ganados-Alejo, V. Study of the Evolution of the Residual Stresses in Thermal Barrier Coatings from Manufacturing to Its Operation Work. Coatings 2022, 9, 1130. <https://doi.org/10.3390/coatings1208106>.
- [4] Amirhossein P., Fariborz S., Amirhossein E., Leila B., Mehdi R. N., Milad B. and Kamalan Ki. Failure mechanisms and structure tailoring of YSZ and new candidates for thermal barrier coatings: A systematic review, Materials & Design, Volume 222, 2022, 111044, ISSN 0264-1275, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.111044>.
- [5] Zaoyu S., Guanxi L., Jianwei D., Limin H. and Rende M. LaNdZrO thermal barrier coatings by electron beam physical vapor deposition: Morphology, thermal property and failure mechanism, Chemical Engineering Journal Advances, Volume 11, 2022, 100328, ISSN 2666-8211, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.100328>
- [6] Sharma A., Witz G., LeCreux C. and Hitchman N. High heat flux burner-rig testing of 8YSZ thermal barrier coatings: Influence of the powder feedstock, Journal of the European Ceramic Society, 2022, ISSN 0955-2219, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2022.07.049>.
- [7] Domínguez, A. I. (2014). El método del elemento finito mediante el software ANSYSWB II. CDMX: ESIME-TICOMAN.
- [8] Matweb. (10 de agosto de 2020). Matweb Material Property Data. Obtenido de <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=d602892dd5c9405aa584a1f5c16c7565104>
- [9] Matweb. (10 de agosto de 2020). Matweb Material Property Data. Obtenido de <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=4e3988dd9adb4d1ca37a1b2cbab87d9a>
- [10] Matweb. (10 de agosto de 2020). Matweb Material Property Data. Obtenido de <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=677e376bc75f495ea4c83a05502a5c0c>
- [11] Matweb. (10 de agosto de 2020). Matweb Material Property Data. Obtenido de <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=4e3988dd9adb4d1ca37a1b2cbab87d9a&ckck=1>
- [12] Matweb. (10 de agosto de 2020). Matweb Material Property Data. Obtenido de <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=5441ec2f20e84994843ac66805e0528b&ckck=1>
- [13] Metals, H. T. (10 de agosto de 2020). High Temp Metals. Obtenido de <https://www.hightempmetals.com/techdata/hitempHastXdata.php#:~:text=Hastelloy%20X%20is%20a%20nickel,excellent%20forming%20and%20welding%20characteris>
- [14] Tjong S.C. and C.S. Wu. Some aspects of the plasma-sprayed thermal barrier coating on Hastelloy X, Surface and Coatings Technology, Volume 31, Issue 3, 1987, Pages 289-295, ISSN 0257-8972, [https://doi.org/10.1016/0257-8972\(87\)90081-8](https://doi.org/10.1016/0257-8972(87)90081-8).
- [15] Khan, A.N.; Lu, J.; Liao, H. Effect of residual stresses on air plasma sprayed thermal barrier coatings. Surf. Coat. Technol. 2003, 168, 291–299. [https://doi.org/10.1016/s0257-8972\(03\)00207-x](https://doi.org/10.1016/s0257-8972(03)00207-x).
- [16] Chen, X.; Yan, J.; Karlsson, A.M. On the determination of residual stress and mechanical properties by indentation. Mater. Sci. Eng. A 2006, 416, 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.10.034>.
- [17] Lima, C.; Nin, J.; Guilemany, J. Evaluation of residual stresses of thermal barrier coatings with HVOF thermally sprayed bond coats using the Modified Layer Removal Method (MLRM). Surf. Coat. Technol. 2006, 200, 5963–5972. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.09.016>.

- [18] Ng, H.; Gan, Z. A finite element analysis technique for predicting as-sprayed residual stresses generated by the plasma spray coating process. *Finite Elements Anal. Des.* 2005, 41, 1235–1254. <https://doi.org/10.1016/j.finel.2005.02.002>.
- [19] Zhu, J.; Chen, W.; Xie, H. Simulation of residual stresses and their effects on thermal barrier coating systems using finite element method. *Sci. China Ser. G: Physics, Mech. Astron.* 2015, 58, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11433-014-5541-y>.
- [20] Rajabi, M.; Aboutalebi, M.; Seyedein, S.; Ataie, S. Simulation of residual stress in thick thermal barrier coating (TTBC) during thermal shock: A response surface-finite element modeling. *Ceram. Int.* 2021, 48, 5299–5311. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.11.073>.

Evaluación del ángulo de orientación de fibra en vigas de material compuesto con diferente sección transversal

Jaime Espinoza Hernández^{1*}, Denison Selene Sánchez Migue², José Alejandro Amaro Hernández³, Oscar Fernández Perez-Tejada⁴

¹Universidad Autónoma de San Luis Potosí, jaime.espinoza@uaslp.mx, ²Universidad Autónoma de San Luis Potosí, denison.sanchez@uaslp.mx, ³Universidad Autónoma de San Luis Potosí, alejandro.amaro@uaslp.mx, ⁴Universidad Autónoma de San Luis Potosí, oscar.pereztejada@uaslp.mx

Área de participación: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica

Resumen

En este trabajo se realiza un análisis paramétrico utilizando el software de elemento finito ANSYS para encontrar el ángulo de orientación de las fibras que genera la mayor torsión en vigas con sección transversal plana, en I y en caja. Se utilizan configuraciones con materiales de fibra de vidrio, fibra de carbono e híbridos de fibra de vidrio/carbono, se varía el ángulo de orientación de la fibra de 0° a 90° con incrementos de 10°. Para la fibra de vidrio y carbono el ángulo de orientación de fibra que mayor torsión genera es a 20° y a 10° respectivamente y es independiente de la geometría, para los materiales híbridos el ángulo de orientación de fibra que mayor torsión genera es de 20° para la viga con sección transversal plana y a 10° para las vigas con sección transversal en I y en caja.

Palabras clave: Adaptabilidad aeroelástica, acoplamiento flexión-torsión, vigas de materiales compuestos, ANSYS

Abstract

In this work, a parametric analysis is performed using the ANSYS finite element software to find the orientation angle of the fibers that generate the greatest twist in beams with flat, I and box cross section. Configurations with glass fiber, carbon fiber and glass/carbon fiber hybrids are used, fiber orientation angles is varied from 0° to 90° in 10° increments. For glass and carbon fiber the fiber orientation angle that generates the greatest twist is 20° and 10° respectively and is independent of geometry, for hybrid materials the fiber orientation angle that generates the greatest twist is 20° for beam with flat cross section and at 10° for I-beam and box beams

Key words: aeroelastic tailoring, bend-twist coupling, composite materials beam, ANSYS

Introducción

La perspectiva de mercado para la industria eólica a nivel mundial es positiva, GWEC cree que hasta el año 2023 se instalarán 55 GW anualmente [1]. Para extraer mayor energía del viento una opción es incrementar el tamaño de los aerogeneradores, por tal motivo, se comienzan a fabricar rotores más grandes, GE [2] con la turbina Haliade-X que genera 12 MW y tiene palas de 107 m de longitud, SIEMENS-Gamesa [3] con la turbina SG 10.0193DD genera 10 MW, trabajos recientes de investigación en grandes turbinas son los de NREL [4] con un rotor de 240 m y una generación 15 MW y de L Sartori [5] quien trabaja en un concepto de turbina con un diámetro de 252 m y una generación de 20 MW.

Con una mayor captura de energía mediante el aumento del diámetro del rotor, incrementan las cargas aerodinámicas e inerciales actuando sobre las palas y la solicitan más estructuralmente. Para reducir las cargas se utilizan técnicas de control activo como el control de pitch, este cambia el ángulo de paso y con eso se reducen las cargas aerodinámicas, la adaptabilidad aeroelástica [6] como control pasivo no utiliza actuadores, en ella las palas se adaptan a las condiciones del viento, cambiando su ángulo de ataque, cambiando así sus características aerodinámicas. Lobitz [7] encontró que con torsiones de 2° en la punta puede incrementarse la captura de energía

de un 10 a 15% y se reducen las cargas de fatiga, Hayat [8] encontró que con 2.9° en la punta se pueden reducir de un 8.7 a un 13.7%.

La técnica de adaptabilidad aeroelástica puede conseguirse ya sea por adaptabilidad geométrica o comúnmente mediante adaptabilidad estructural que puede generarse con el cambio en la distribución interior de la pala, la distribución de material o mediante el cambio en el ángulo de orientación de las fibras. Cambiar el ángulo de orientación de las fibras es más común, sobre este tema, diversos autores han trabajado tratando de encontrar el ángulo de orientación de las fibras que generen mayor torsión.

Karaolis [9] encontró que para una sola lámina el máximo acoplamiento se produce a ángulos de fibra de 12° , 10° y 18° para materiales de fibra de carbono, vidrio y kevlar, Walsh [10] a 20° , 25° y 15° la fibra de carbono, vidrio y kevlar respectivamente, en una viga en forma de D, Ong [11] evaluó materiales híbridos de fibra de vidrio y carbono, con diferentes configuraciones a ángulos de 70° y 20° , Fedorov [12,13] investigó vigas con sección transversal en forma de I y de caja de fibra de vidrio, encontrando ángulos de 15° y 20° respectivamente, e investigó una sección de aspa con ángulo de 25° de fibra de vidrio, Locke [14] y Berry [15] han trabajado en palas de 9 m de longitud agregando capas de fibra de vidrio a 20° , Kooijman [6] encontró que la fibra de carbono a 33° produce la mayor torsión, Goeij [16] en una pala de 26 m evaluó diferentes configuraciones de material híbrido de fibra de carbono y vidrio encontrando ángulos de 25° y -65° respectivamente.

Un área de oportunidad que el autor de este trabajo observa es que se han realizado diversas investigaciones en las que se han evaluado diferentes materiales, ángulos de orientación de fibra y geometrías, sin embargo, no se sabe si el mismo material con el mismo ángulo de orientación de fibra genera la mayor torsión en cualquier geometría.

Es por eso que el objetivo de este trabajo es utilizar materiales compuestos de fibra de vidrio, fibra de carbono y dos combinaciones híbridas con ambos materiales y evaluarlos en tres geometrías distintas para observar si el ángulo de orientación de fibra que genera la mayor torsión en las diferentes geometrías es el mismo para cada material utilizado.

Metodología

Se realiza un análisis paramétrico utilizando el software de elemento finito ANSYS 17.1. Se estudian tres vigas con sección transversal (ST) constante, en cada viga se utiliza el material de fibra de vidrio, fibra de carbono y dos configuraciones híbridas vidrio/carbono, para cada configuración se analizan el ángulo de orientación de la fibra θ de 0° a 90° en incrementos de 10° . Las condiciones de frontera consisten en el empotramiento en un extremo restringiendo el desplazamiento de los nodos en todas las direcciones mientras en el otro extremo se aplica un desplazamiento. Las respuestas de interés son el ángulo de torsión que se genera en el extremo libre y el factor de reserva inverso obtenido mediante el criterio de falla de MaxStrain.

Fundamentos matemáticos

En el análisis de materiales compuestos se utiliza la teoría clásica de laminados [17], la ec. (1) describe la relación de las fuerzas y deformaciones mediante una matriz de rigidez. Cuando se tienen laminados simétricos la matriz de rigidez de acoplamiento [B] se hace cero, con esta configuración, los elementos D16 y D26 acoplan los momentos de flexión a la curvatura de torsión y los momentos de torsión a la curvatura de flexión, generando así, el acoplamiento flexión-torsión, esto significa, que cuando aplicamos una carga de flexión la viga flexiona en dirección de la carga aplicada y adicionalmente por el acoplamiento flexión-torsión ocasionado por ángulos de orientación de la fibra diferentes a 0° y 90° , se genera una torsión en la viga.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \\ k_x^0 \\ k_y^0 \\ k_{xy}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} & B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} & B_{16} & B_{26} & B_{66} \\ B_{11} & B_{12} & B_{16} & D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} & D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} & D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} \quad (1)$$

El ángulo de torsión se encuentra por trigonometría, se miden los desplazamientos en el extremo libre de cada viga y se divide entre el ancho, a esta cantidad se saca el seno inverso y se obtiene el valor de torsión φ° en grados, la ec. (2) muestra cómo se obtiene el ángulo de torsión.

$$\varphi = \text{sen}^{-1} \left(\frac{h1 - h2}{b} \right) = \varphi^\circ \quad (2)$$

El criterio de MaxStrain compara los valores de deformaciones obtenidos por las condiciones de frontera contra los valores de resistencia del material, la ec. (3) muestra la relación entre el valor de deformación y la resistencia del material en las diferentes direcciones.

$$f = \max \left(\left| \frac{\varepsilon_1}{T_S} \right|, \left| \frac{\varepsilon_2}{C_S} \right|, \left| \frac{\gamma_{12}}{S_S} \right| \right) \quad (3)$$

El factor de reserva RF indica el margen para la falla. La ec. (4) muestra que la carga aplicada $F_{aplicada}$ multiplicada por el factor de reserva da la carga de falla F_f .

$$RF * F_{aplicada} = F_f \quad (4)$$

La ec. (5) muestra el factor de reserva inverso IRF, valores no críticos están entre 0 y 1, mayores a 1 indican falla.

$$IRF = \frac{1}{RF} \quad (5)$$

Materiales

Los materiales utilizados en el presente trabajo son fibra de vidrio y fibra de carbono con resina epoxi, las propiedades mecánicas son obtenidas de las bases de datos del programa ANSYS 17.1, aparecen con el nombre de Epoxy E-Glass UD y Epoxy Carbon UD (230 GPa) respectivamente, ver Tabla 1. Las capas de compuesto de fibra vidrio tienen un espesor de 0.89 mm, mientras que las de fibra de carbono de 0.34 mm, para el análisis estructural se necesitan los módulos de elasticidad en la dirección longitudinal y transversal de la fibra (E1, E2), el módulo cortante (G12) y el coeficiente de Poisson (ν_{12}). Para evaluar el daño en las capas mediante el criterio de fallo de MaxStrain, son necesarios los valores de deformación última a la tensión, compresión y cortante (T_S, C_S y S_S).

Tabla 1 – Propiedades mecánicas de los materiales.

	Epoxy E-Glass UD (F. de Vidrio)	Epoxy Carbon UD (F. de Carbono)
Espesor de compuesto (mm)	0.89	0.34
Densidad (kg/m ³)	2000	1490
E1 (MPa)	45000	121000
E2 (MPa)	10000	8600
G12 (MPa)	5000	4700
ν_{12} (MPa)	0.3	0.27
T_S ($\mu\epsilon$)	0.0244	0.0167
C_S ($\mu\epsilon$)	-0.015	-0.0108
S_S ($\mu\epsilon$)	0.016	0.012

Geometrías

Las palas de las turbinas eólicas tienen componentes internos que cumplen con determinada función, uno de ellos es el spar-cap que se encarga de resistir las fuerzas de empuje del viento, normalmente está formado de capas de material UD y va uno colocado en la concha de presión y otro en la concha de succión, estos se unen mediante unos shearwebs, dependiendo del diseño puede ser uno, dos o tres shearwebs que son fabricados de un sándwich de material biaxial con núcleo de pvc. De manera simplificada este componente puede tratarse con las geometrías seleccionadas a continuación.

Se utilizan tres vigas, cada viga tiene una longitud de 1000 mm, un ancho de 100 mm y su sección transversal (ST) es constante. La Figura 1 muestra la viga con ST plana, con ST en forma de I y con ST en forma de caja, las últimas dos tienen una altura de 50 mm, el espesor del alma de las vigas es de dos capas de material biaxial. El espesor t de cada viga varía con el laminado.

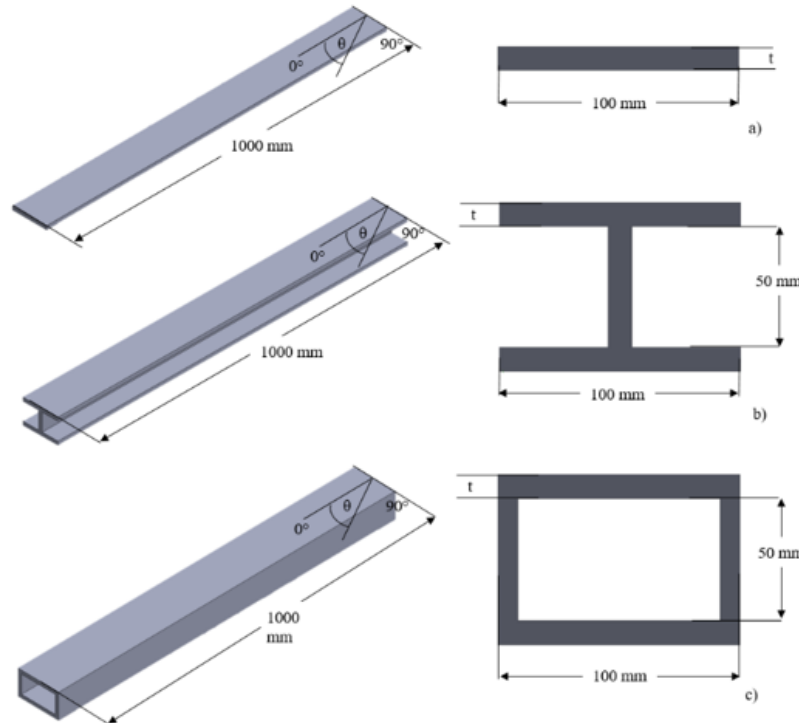


Figura 1 – Vigas, (a) ST plana; (b) ST en I; (c) ST en caja.

Descripción de los modelos

Se define como modelo a la configuración de capas que lleva cada viga a analizar.

- Modelo 1 (M1): Utiliza como material 8 capas de fibra de vidrio dando un espesor final de 7.12 mm, se define el laminado de la siguiente forma [gl]8.
- Modelo 2 (M2): Utiliza como material 8 capas de fibra de carbono dando un espesor final de 2.72 mm, se define el laminado de la siguiente forma [ca]8.
- Modelo 3 (M3): Utiliza como material 4 capas de fibra de vidrio y 4 capas de fibra de carbono dando un espesor final de 9.84 mm, se define el laminado de la siguiente forma [gl4/ca4].
- Modelo 4 (M4): Utiliza como material 4 capas de fibra de carbono y 4 capas de fibra de vidrio dando un espesor final de 9.84 mm, se define el laminado de la siguiente forma [ca4/gl4].

Los cuatro modelos son evaluados en las tres vigas, en cada viga se cambia el ángulo de orientación θ de las fibras de 0° a 90° en incrementos de 10° , la dirección de referencia de las fibras puede verse en la Figura 1.

Modelos FEM

El CAD de las geometrías 3D de las vigas son creadas utilizando el programa *Solidworks*, el modelo FEM de las vigas es creado en el software de elemento finito *ANSYS 17.1*, el módulo *ANSYS Composite Prepost (ACP)* es

utilizado para el modelado de los compuestos y el módulo *Static Structural* para la aplicación de las condiciones de frontera y obtención de resultados.

El elemento que compone la malla de los distintos modelos es un Shell 181, este elemento cuenta con 6 grados de libertad que le permiten el desplazamiento y rotación en los tres ejes, el método de mallado es con elementos cuadriláteros, se utiliza un controlador de tamaño de 10 mm en todas las geometrías. Para la viga plana se generan 1111 nodos y 1000 elementos, para la viga en I se generan 2832 nodos y 2504 elementos y para la viga en caja se generan 3030 nodos y 3000 elementos, con estas características de mallado, para las tres geometrías se genera una calidad de elemento en promedio de 0.99, en donde 1 indica un cuadrado perfecto, un elemento con esta calidad aporta estabilidad a la solución numérica y a la evolución de las cargas.

Se tiene especial cuidado en asignar las direcciones de las fibras sobre las superficies que componen cada una de las vigas. La Figura 2, muestra los extremos de las tres vigas, las flechas en color amarillo indican el eje de referencia o la dirección de 0°, en color verde se indica la dirección de la fibra. Esta dirección de fibra va cambiando en cada modelo de 0° a 90° en incrementos de 10°.

Las condiciones de frontera son aplicadas mediante puntos remotos y serán las de una viga en voladizo, empotramiento en un extremo y en el otro extremo la aplicación de un desplazamiento de 100 mm en el eje Y, se escoge un desplazamiento como carga para que todas las geometrías se desplacen la misma cantidad en la punta. La Figura 3, muestra las condiciones de frontera en las tres vigas, con la letra A, aparece la zona de empotramiento, con la letra B la zona de aplicación de carga.

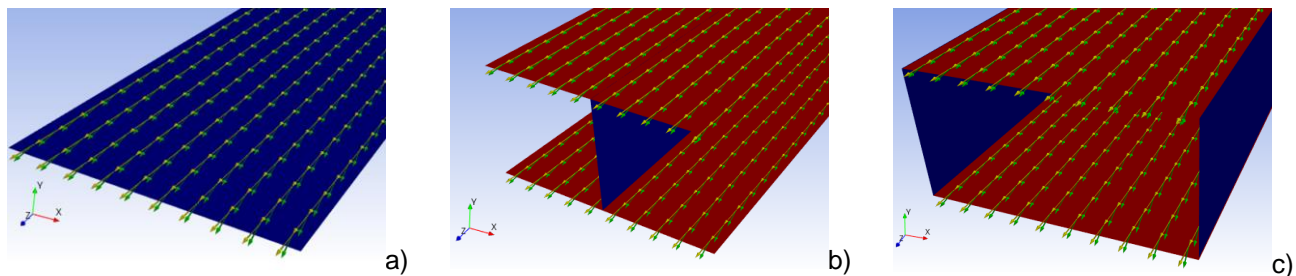


Figura 2 – Ángulo de Orientación de fibra en las vigas; a) viga plana, b) viga en I, c) viga en caja.

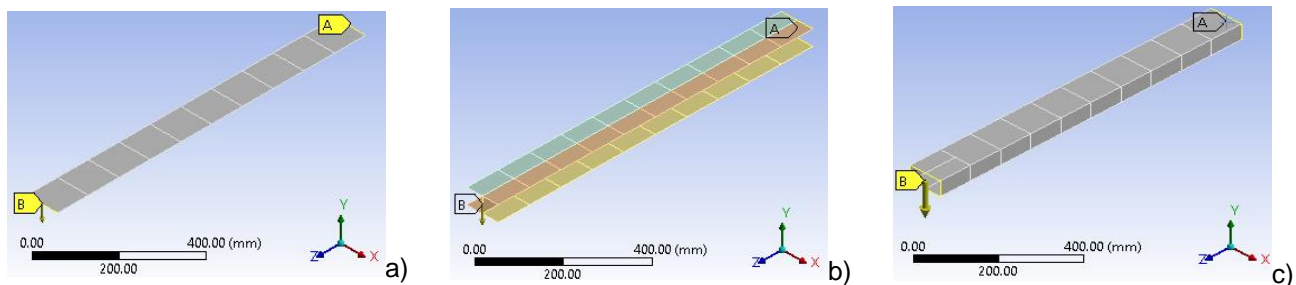


Figura 3 – Condiciones de frontera en las vigas; a) viga plana, b) viga en I, c) viga en caja.

Resultados y discusión

Los resultados que son de interés son el ángulo de torsión φ en el extremo libre y el factor de reserva inverso IRF del criterio de MaxStrain.

Viga plana

La Figura 4 muestra la distribución de desplazamientos, el color rojo indica el máximo valor y el color azul el mínimo, se observa que existe una diferencia de desplazamientos en la punta, siendo mayor el del punto marcado como h1. Esta diferencia en los desplazamientos es lo que genera el ángulo de torsión.

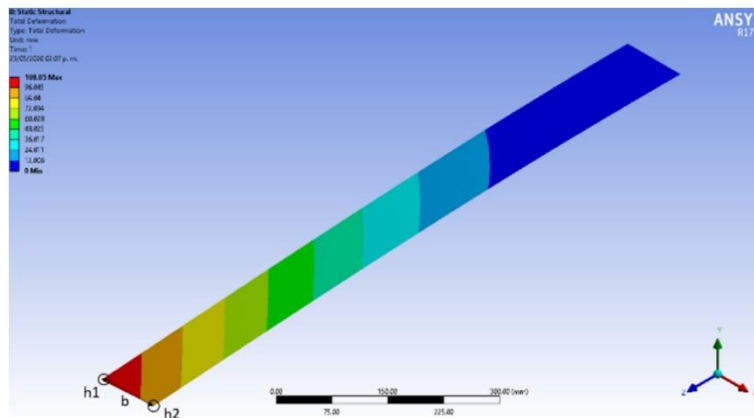


Figura 4 – Distribución de desplazamientos en viga plana.

La Figura 5 muestra la distribución de torsión para los 4 modelos, como era de esperarse, a 0° y 90° de ángulo de orientación de fibra θ , la torsión φ es 0° en todos los modelos. El modelo 1 presenta una torsión de 4.46° a un ángulo θ de 20° . El modelo 2 presenta una torsión de 9.28° a un ángulo θ de 10° . El modelo 3 tiene un ángulo de torsión de 6.09° a un ángulo θ de 20° y el modelo 4 un ángulo de torsión de 6.18° a un ángulo θ de 20° .

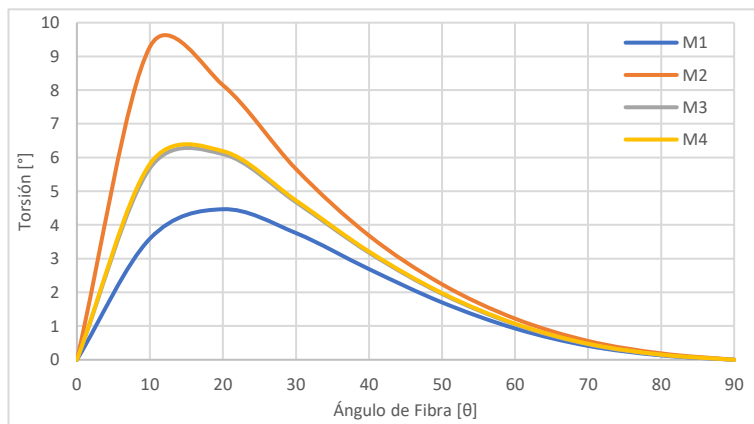


Figura 5 – Distribución de torsión en vigas planas.

La Figura 6 muestra la magnitud del valor máximo de IRF en cada ángulo de orientación de fibra para los 4 modelos. El modelo 1 presenta el mínimo IRF de 0.06 a un ángulo θ de 10° y el máximo IRF de 0.23 a un ángulo θ de 90° . El modelo 2 tiene el mínimo IRF de 0.03 a un ángulo θ de 0° y el máximo IRF de 0.099 a un ángulo θ de 90° . El modelo 3 tiene mínimo IRF de 0.04 a un ángulo θ de 0° y el máximo IRF de 0.17 a un ángulo θ de 90° . El modelo 4 tiene el mínimo IRF de 0.05 a un ángulo θ de 0° y el máximo IRF de 0.17 a un ángulo θ de 90° , la distribución de torsión entre el modelo 3 y el 4 son muy similares.

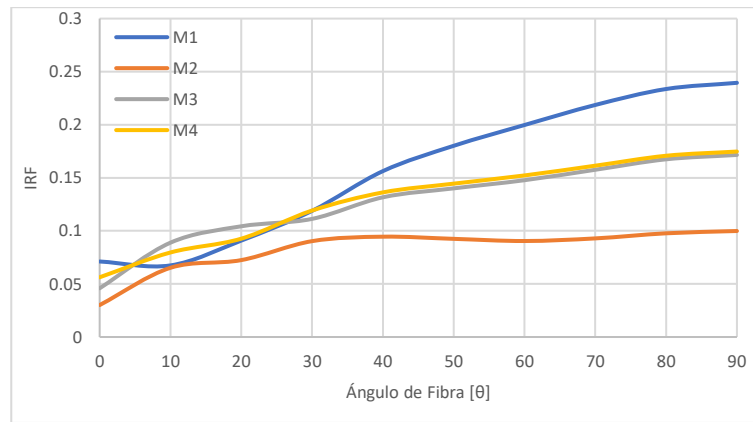


Figura 6 – Distribución de IRF en vigas planas.

Viga en I

La Figura 7 muestra la distribución de desplazamientos, el color rojo indica el máximo valor y el color azul el mínimo, se observa que existe una diferencia de desplazamientos en la punta debido al ángulo de orientación de las fibras.

La Figura 8 muestra la distribución de torsión para los 4 modelos. El Modelo 1 presenta una torsión máxima de 6.49° a un ángulo θ de 20° . El Modelo 2 presenta una torsión máxima de 21° a un ángulo θ de 10° . El Modelo 3 presenta una torsión máxima de 9.32° a un ángulo θ de 10° . El Modelo 4 presenta una torsión máxima de 14.75° a un ángulo θ de 10° .

La Figura 9 muestra la distribución de IRF para cada ángulo θ para los 4 modelos. Para el Modelo 1 el valor mínimo de IRF es 0.85 y se mantiene constante para los ángulos θ de 10° , 20° y 30° , el máximo IRF es a 90° con una magnitud de 2.3. El Modelo 2 tiene el mínimo IRF de 1.39 a un ángulo θ de 20° y el máximo de 2.37 a 0° . El Modelo 3 tiene el mínimo IRF de 1.13 a un ángulo θ de 50° y el máximo IRF de 1.85 a un ángulo θ de 10° y el Modelo 4 tiene el mínimo IRF de 1.79 a un ángulo θ de 20° y el máximo IRF de 3 a un ángulo θ de 90° .

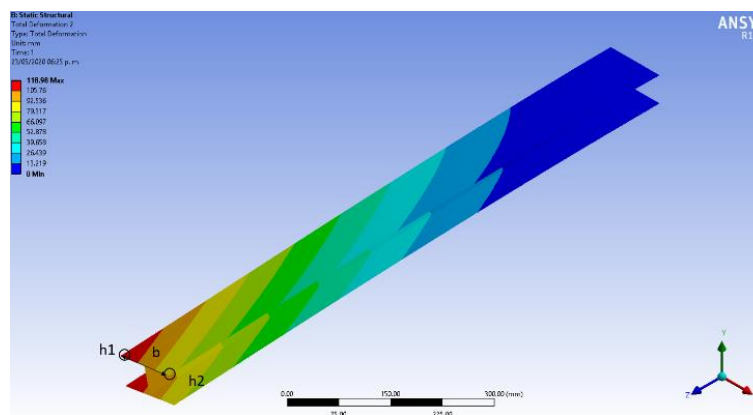


Figura 7 – Distribución de desplazamientos en viga en I.

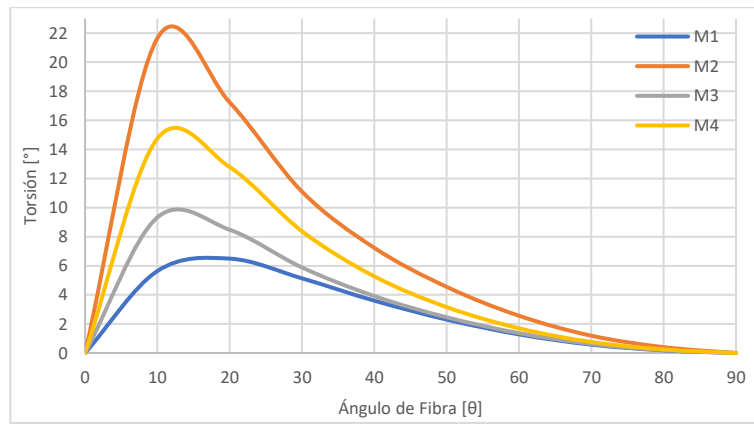


Figura 8 – Distribución de torsión en vigas I.

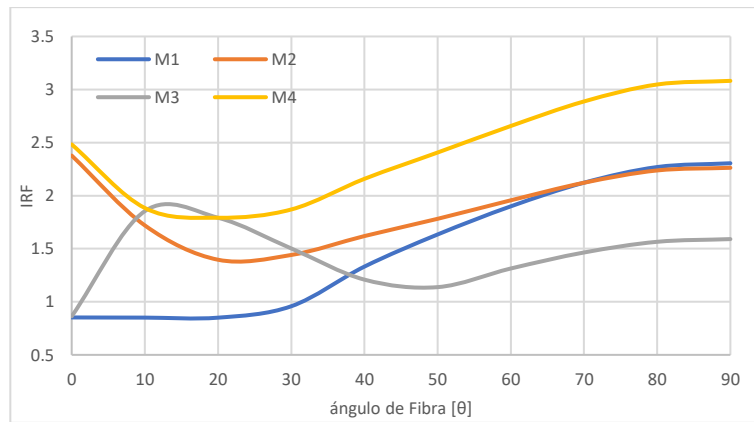


Figura 9 – Distribución de IRF en vigas I.

Viga en caja

La Figura 10 muestra la distribución de desplazamientos, el color rojo indica el máximo valor y el color azul el mínimo, se observa que existe una diferencia de desplazamientos en la punta debido al ángulo de orientación de las fibras.

La Figura 11 muestra la distribución de torsión para los 4 modelos. El Modelo 1 presenta una torsión máxima de 4.9° a un ángulo θ de 20° . El Modelo 2 presenta una torsión máxima de 11.7° a un ángulo θ de 10° . El Modelo 3 presenta una torsión máxima de 7.63° a un ángulo θ de 10° . El Modelo 4 presenta una torsión máxima de 7.63° a un ángulo θ de 10° , el comportamiento del Modelo 3 y 4 son muy similares.

La Figura 12 muestra la distribución de IRF para cada ángulo θ para los 4 modelos. Para el Modelo 1 el valor mínimo de IRF es 0.64 a un ángulo θ de 0° , el máximo es a 90° con una magnitud de 2.3. El Modelo 2 tiene el mínimo IRF de 1.47 a un ángulo θ de 20° y el máximo de 2.36 a 0° . El Modelo 3 tiene el mínimo IRF de 0.88 a un ángulo θ de 0° y el máximo IRF de 2 a un ángulo de 10° y el Modelo 4 tiene el mínimo IRF de 0.95 a un ángulo de 0° y el máximo IRF de 2.9 a un ángulo de 90° .

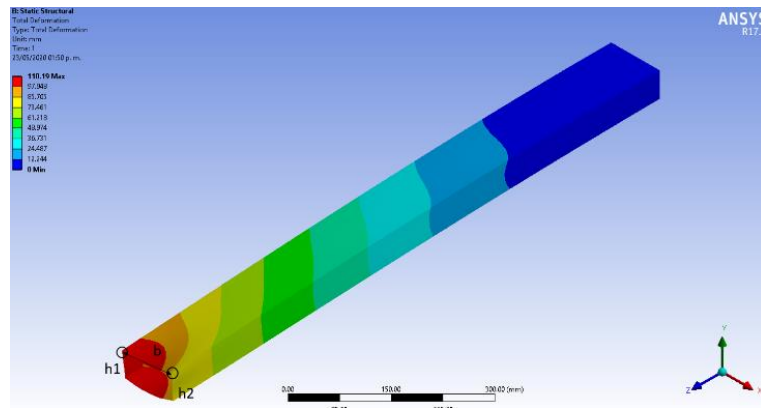


Figura 10 – Distribución de desplazamientos en viga caja.

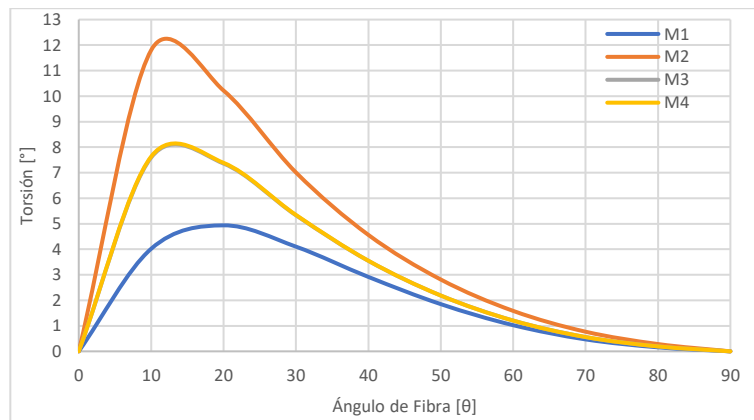


Figura 11 – Distribución de torsión en vigas en caja.

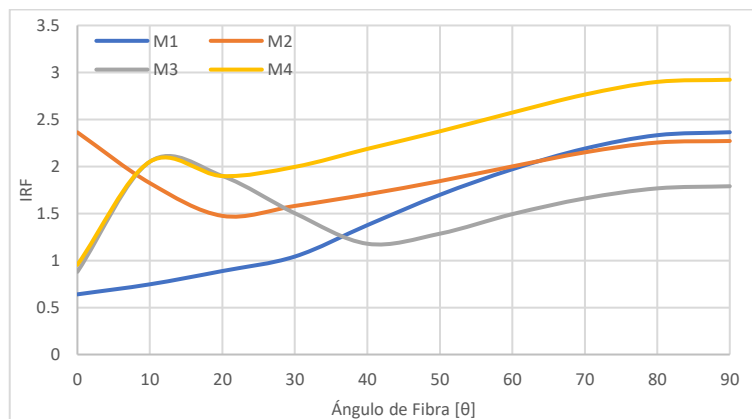


Figura 12– Distribución de IRF en vigas en caja.

Trabajo a futuro

Para tener una mayor confiabilidad en los resultados de esta investigación, es deseable analizar las mismas configuraciones en palas de gran longitud, de 30 m y 60 m.

Conclusiones

En el trabajo presentado se realizó un análisis paramétrico en el que se encontró el ángulo de orientación de fibra que genera la mayor torsión en las diferentes geometrías.

Para el material (fibra de vidrio) del modelo 1, el ángulo de orientación de la fibra que genera la mayor torsión es a 20°, esto se repite en las tres geometrías analizadas, este ángulo es similar al encontrado en [11].

Para el material (fibra de carbono) del modelo 2, el ángulo de orientación de la fibra que genera la mayor torsión es a 10°, esto se repite en las tres geometrías analizadas, este ángulo es similar al encontrado en [9].

Para los materiales (híbridos) del modelo 3 y 4, el ángulo de orientación de la fibra que genera la mayor torsión es a 20° para la viga plana y a 10° para la viga en I y en caja.

Cuando se analizan materiales de manera aislada como la fibra de vidrio y carbono no importa la geometría que se utilice, el ángulo de orientación de la fibra que genera la mayor torsión va a ser siempre el mismo, sin embargo, cuando se tienen materiales híbridos, este ángulo va a variar con la geometría.

El objetivo de este trabajo no consistía en diseñar estructuralmente ninguna de las vigas, es por eso que hay muchos valores de IRF que son superiores a 1, sin embargo, es importante conocer cómo cambia la resistencia de las estructuras cuando se varían los ángulos de orientación de las fibras.

Las magnitudes mínimas de IRF para el modelo 1 se obtienen a 10° en la viga plana y en la viga en I, en la viga en caja el mínimo se obtiene a 0°.

Las magnitudes mínimas de IRF para el modelo 2 se obtienen a 0° para la viga plana y a 20° para la viga en I y en caja.

Las magnitudes mínimas de IRF para el modelo 3 se obtienen a 0° para la viga plana y en caja, a 50° para la viga en I.

Las magnitudes mínimas de IRF para el modelo 4 se obtienen a 0° para la viga plana y en caja, a 20° para la viga en I.

Referencias

- [1] Global wind energy council, report 2018.
- [2] <https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/offshore-wind/haliade-x-offshore-turbine>
- [3] <https://www.siemensgamesa.com/es-es/products-and-services/offshore/aerogenerador-sg-10-0-193-dd>
- [4] <https://www.nrel.gov/news/program/2020/reference-turbine-gives-offshore-wind-updraft.html>
- [5] L Sartori, F Bellini, A. Croce, CL Bottasso. Preliminar design and optimization of a 20 MW reference wind turbine. Journal of Physics: Conference Series. 2018.
- [6] H.J.T. Kooijman. Bending-torsion coupling of a wind turbine rotor blade. Netherlands Energy Research Foundation, Report number 7.4012. 1996.
- [7] Don W. Lobitz, Paul S. Veers, G. Richard Eisler, David J. Laino, Paul G. Migliore and Gunjit Bir. The Use of Twist-Coupled Blades to Enhance the Performance of Horizontal Axis Wind Turbines. SAND20001-1303. 2001.
- [8] Khazar Hayat, Sung Kyu Ha. Load mitigation of wind turbine blade by aeroelastic tailoring via unbalanced laminates composites. Elsevier, composite structures. 2015.
- [9] N. M. Karaolis. The design of fibre reinforced composite blades for passive and active wind turbine rotor aerodynamic control. University of Reading. 1989.
- [10] Justin M. Walsh, David E. Walrath. Experimental bend-twist coupling properties of three unidirectional fiber-reinforced composite materials. AIAA 2011-261.
- [11] Cheng-Huat Ong, Stephen W. Tsai. Manufacture and Testing of a Bend-Twist D-spar Design. SAND 99-1324. 1999.
- [12] Vladimir Fedorov. Bend-Twist coupling effects in wind turbine blades. Department of wind energy, Technical University of Denmark. 2012.

- [13] V.A. Fedorov, N. Dimitrov, C. Berggree, . Krenk, K. Branner and P. Berring. Investigation of structural behavior due to bend-twist couplings in wind turbine blades. International conference of Composite Materials. July 2009.
- [14] James Locke and Ulyses Valencia. Design studies for twist-coupled wind turbine blades. SAND2004-0522. 2004.
- [15] Derek Berry, Tom Ashwill. TS-100 Manufacturing final project report. SANDIA REPORT SAND2007-6066. 2007
- [16] H.J.T. Kooijman. Bending-torsion coupling of a wind turbine rotor blade. ECN-a—96-060. 1996.
- [17] W. C. de Goeij, M. J. L. Van Tooren, A. Beukers. Implementation of bending-torsion coupling in the design of a wind-turbine rotor-blade. Elsevier. 1999.
- [18] F. París, J. Cañas, J. c. Marín. Introducción al análisis y diseño con materiales compuestos. Universidad de Sevilla, GERM. 2006.

Estudio de la degradación del Nylamid 901 y su efecto en el comportamiento de creep

Guillermo Enrique Aguilar Cortes¹, María Teresa Hernández Sierra², Karla Judith Moreno Bello², Luis Daniel Aguilera Camacho², J. Santos García Miranda^{2*}

¹Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Tecnológico Nacional de México en Celaya, d2003002@itcelaya.edu.mx

² Departamento de Ingeniería Mecánica, Tecnológico Nacional de México en Celaya, teresa.hernandez@itcelaya.edu.mx, karla.moreno@itcelaya.edu.mx, daniel.aguilera@itcelaya.edu.mx, santos.garcia@itcelaya.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica

Resumen

El creep es una propiedad mecánica que puede determinar la vida útil de un material cuando se somete a una carga constante durante largos períodos. El envejecimiento o degradación puede afectar diferentes características de los materiales, incluidas sus propiedades mecánicas. El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto de la degradación del Nylamid 901 sobre su comportamiento de creep mediante microindentación Vickers. Conjuntamente, el efecto de la degradación se analizó mediante la determinación del porcentaje de absorción, la masa ganada/perdida, el cambio en la morfología y rugosidad superficial, así como el cambio en sus características químicas. La degradación del polímero se produjo mediante la inmersión en agua de mar, aceite de ricino, y aceite de canola. Los resultados mostraron que hay una influencia significativa del medio degradante sobre las propiedades del polímero, encontrándose una mejor respuesta de creep en las muestras degradadas con aceite de ricino.

Palabras clave: Nylamid, degradación de polímeros, aceites vegetales, creep por indentación.

Abstract

Creep is a mechanical property that can determine the service life of a material when subjected to constant loading over long periods. Aging or degradation can affect different characteristics of materials, including their mechanical properties. The objective of this work was to analyze the effect of degradation of Nylamid 901 on its creep behavior using Vickers microindentation. In conjunction, the effect of degradation was analyzed by determining the absorption percentage, mass gain/loss, change in morphology and surface roughness, as well as the change in its chemical characteristics. Degradation of the polymer occurred by immersion in seawater, castor oil, and canola oil. The results showed that there is a significant influence of the degrading medium on the polymer properties, finding a better creep response in the samples degraded with castor oil.

Key words: Nylamid, polymer degradation, vegetable oils, creep by indentation.

Introducción

Predecir el comportamiento de los materiales poliméricos ha sido uno de los mayores problemas durante varias décadas. Tanto en el sector académico como en el industrial, la predicción del ciclo de vida de un material es fundamental en la selección de materiales para garantizar de forma segura su óptimo funcionamiento en las diferentes aplicaciones [1]. El creep es una deformación dependiente del tiempo que ocurre cuando un material se somete a una carga durante un período prolongado de tiempo, y puede servir como pilar para la determinación de la vida útil de un material [2]. La determinación del comportamiento de creep suele determinarse mediante ensayos de tensión debido a su alta correlación con este tipo de pruebas [3]. Sin embargo, también se ha reportado el uso de pruebas de indentación para determinar propiedades mecánicas importantes en los

materiales, tales como el creep [4]. Algunos investigadores han encontrado correlaciones entre las pruebas de creep por tensión y las pruebas de creep por microindentación, y han mostrado una comparación entre los coeficientes de creep (k) obtenidos, por lo que ambos tipos de estudios pueden ser utilizados para un estudio adecuado de creep [5]. No obstante, la determinación de creep por indentación tiene diversas ventajas como mayor facilidad y rapidez, además, debido a que es un tipo de prueba no destructiva en la que se generan micro y nano muescas que no alteran la funcionalidad del producto final, se pueden analizar materiales terminados.

La vida útil de los polímeros también se ve afectada por las condiciones ambientales a las que están expuestos los materiales, ya que el medio ambiente puede tener una influencia agresiva sobre la durabilidad de los componentes en funcionamiento. La degradación en polímeros se puede dar por uno o varios factores ambientales como la exposición a la luz o el calor, el contacto con otras sustancias químicas (ácidos, alcalinos y algunas sales), entre otros. La degradación afecta las diversas características y propiedades de los polímeros, tanto mecánicas, físicas, y químicas. El grado de degradación de un polímero se puede observar, de mayor a menor medida, cuando: se reduce la capacidad de soportar cargas mecánicas y se pueden notar deformaciones a nivel macromolecular, la topografía de la superficie se ve alterada, las propiedades físicas han sido modificadas, y cuando existe un cambio en la estructura o composición química [6].

Las poliamidas son uno de los polímeros termoplásticos más empleados para aplicaciones de ingeniería. Sin embargo, tienden a degradarse fácilmente debido a su baja temperatura de distorsión y alta capacidad de absorción de agua debido a los grupos amida, lo que lleva al deterioro de las propiedades mecánicas y a una baja estabilidad dimensional [7]. En la mayoría de las aplicaciones de ingeniería, los componentes están diseñados principalmente para ser sometidos a cargas determinadas, al mismo tiempo que están en ambientes severos debido al uso de distintas sustancias lubricantes. Se ha evaluado el efecto de la degradación térmica y la humedad relativa de una poliamida 6 que contenía fibra de carbono [7], donde se encontró que, con el aumento de estos factores, el polímero tenía una disminución en su rigidez y resistencia al corte. Sin embargo, el efecto que tiene la degradación de este tipo de polímeros debido a la exposición ante diversos medios lubricantes en las propiedades mecánicas como el creep, no ha sido explorado.

Con base a lo anterior, en este trabajo se estudió la influencia de la degradación de una poliamida comercial (Nylamid 901) sobre su comportamiento de creep. La degradación del polímero se realizó a través de la inmersión de este en tres medios degradantes, agua de mar y dos aceites vegetales, aceite de ricino y aceite de canola como sustitutos de lubricantes minerales. La propiedad de creep se determinó mediante un durómetro con microindentador tipo Vickers. Adicionalmente, se monitoreó el efecto de la degradación de Nylamid 901 en sus características superficiales por microscopía óptica y perfilometría de contacto, absorción física y pérdida de masa, así como por espectroscopía infrarroja.

Metodología

Materiales

La poliamida utilizada en este estudio, Nylamid 901 (Nylatron®), fue adquirida comercialmente con un proveedor local. Los aceites vegetales empleados como medios de degradación, aceite de ricino y aceite de canola, se compraron comercialmente y no requirieron alguna preparación adicional para su uso. El agua de mar se consiguió mediante la mezcla homogénea de agua desionizada (Fermont® de Monterrey, México) y sales marinas (Sigma-Aldrich S9883) a una concentración de 40 g/L.

Preparación de muestras de Nylamid 901

Diversas muestras de Nylamid 901 en forma de discos de 5 mm de espesor se obtuvieron a partir de una barra cilíndrica de 1 pulgada de diámetro. Las caras transversales de las muestras se pulieron con papel abrasivo para poder realizar los análisis bajo una misma calidad superficial, alcanzando una rugosidad de 0,1 μm en Ra. Se utilizaron los siguientes tamaños de papel abrasivo de carburo de silicio para lograr el acabado final 80, 120, 180, 300, 600, 1000, 1500 y 2000. Después del pulido, las probetas se limpiaron en un baño ultrasónico con agua destilada y finalmente se secaron en un horno a 50 °C durante 24 horas.

Caracterización química de los materiales.

El material y los medios degradantes se caracterizaron mediante Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR). El análisis se llevó a cabo en un espectrómetro Spectrum 100 (Perkin Elmer) equipado con detector de LiTaO₃ y divisor de haz de KBr, y acoplado con un sensor infrarrojo de reflectancia total atenuada (ATR) de ZnSe. Las muestras fueron escaneadas en el rango de 600–4000 cm⁻¹ con una resolución de 4,0 cm⁻¹.

Proceso de degradación

Las muestras de Nylamid 901 se sumergieron completamente en las sustancias degradantes dentro de recipientes de vidrio cerrados. El tiempo de permanencia en el medio degradante fue de 1, 2 y 3 semanas. La temperatura se mantuvo controlada en una habitación acondicionada a una temperatura de 25 °C con una humedad aproximada de 30%. La colocación de las muestras dentro de los fluidos degradantes se realizó de manera que ambas caras quedaran completamente expuestas a los fluidos degradantes. Una vez cumplidos los respectivos tiempos de degradación, las muestras se retiraron, se lavaron con agua destilada sin frotar y se secaron en un horno a 50 °C durante 24 horas.

Evaluación de la degradación

Para poder medir el nivel de degradación, se realizaron pruebas mecánicas, físicas y químicas. Las pruebas mecánicas se realizaron mediante la medición de dureza, así como la determinación del comportamiento de creep del material. Las pruebas físicas consistieron en evaluar el porcentaje de absorción, la masa ganada/perdida, así como un análisis de las superficies mediante microscopía óptica y el cambio en la rugosidad superficial. Las pruebas químicas consistieron en detectar cambios en la intensidad de las señales del espectro de infrarrojo del Nylamid 901.

Determinación del comportamiento de creep

Para las pruebas de creep se utilizó un Microdurómetro Vickers Knoop Auto SMVK-1000ZS (Metrotec). Los ensayos se realizaron a temperatura ambiente de 25 °C, la carga empleada fue de 200 g, y se utilizaron cinco tiempos de indentación diferentes 5, 10, 20, 40 y 80 segundos. Para cada condición, se realizaron 5 mediciones distribuidas en diferentes áreas de la sección transversal manteniendo una separación mínima de acuerdo a la norma E 384. Los valores de dureza Vickers se multiplicaron por un factor de acuerdo con el ángulo del penetrador para transformar el valor de dureza en unidades de esfuerzo (GPa). Estos valores se graficaron en escala logarítmica con respecto al tiempo para obtener una gráfica de tiempo-esfuerzo. Posteriormente se realizó una regresión lineal para obtener la ecuación de una línea recta de tendencia cuya pendiente representa el valor de la constante de creep (k). Un valor bajo en la constante de creep se obtiene cuando existe una menor deformación respecto al tiempo, representando que un material será más duradero bajo dicha carga y condiciones. Para este estudio, la dureza se determinó en paralelo al estudio de Creep, el valor reportado de dureza corresponde al promedio de las mediciones obtenidas a 80 segundos.

Análisis de topografía superficial

Se realizó una revisión de la topografía de la superficie de nylamid 901 para analizar los cambios a nivel microscópico y observar si hubo un efecto debido a la degradación. Las imágenes se tomaron con un microscopio óptico Axio Imager.A1 m (Zeiss) utilizando un filtro oscuro a 500x. Asimismo, se analizó el cambio en la rugosidad superficial de las muestras degradadas mediante un perfilómetro de contacto SJ-400 (Mituyo).

Análisis de características físicas

Se analizaron los cambios físicos del polímero determinando la pérdida o ganancia de masa y el porcentaje de absorción del fluido degradante con base a la norma ASTM D570 una vez transcurrido el tiempo de degradación. Para determinar la masa perdida o ganada, los especímenes se pesaron antes y después de la degradación con una balanza analítica Explorer Pro (Ohaus) la cual tiene una resolución de 0.1 mg.

Análisis químico por FTIR

Con la finalidad de analizar los cambios químicos en el Nylamid 901, se analizaron las muestras degradadas mediante ATR-FTIR con el equipo y las condiciones previamente descritas. Los espectros se compararon con el espectro del material sin degradar para determinar signos de degradación mediante el análisis del espectro completo con énfasis en los grupos hidroxilo y carbonilo como resultado de reacciones oxidativas.

Resultados y discusión

Caracterización química de los materiales

La Figura 1 muestra el espectro infrarrojo en transmitancia del Nylamid 901 sin degradarse y de los aceites empleados como medios degradantes. En la Figura 1a se pueden observar las señales de estiramiento de los grupos funcionales N-H y CH₂ asimétrico y simétrico, correspondientes a los picos entre 3299-2750 cm⁻¹ los cuales son característicos de este tipo de poliamidas. Los picos más grandes pertenecen a las señales de los enlaces C=O de estiramiento, N-H de deformación, y C-N de estiramiento que se dan aproximadamente entre 1650-1500 cm⁻¹, que son los enlaces que forman las amidas en las estructuras de poliamida. Asimismo, señales debido a las vibraciones de la red del grupo CH₂, así como C-H se ubican aproximadamente entre 1250-600 cm⁻¹ y corresponden al grupo de las amidas [8].

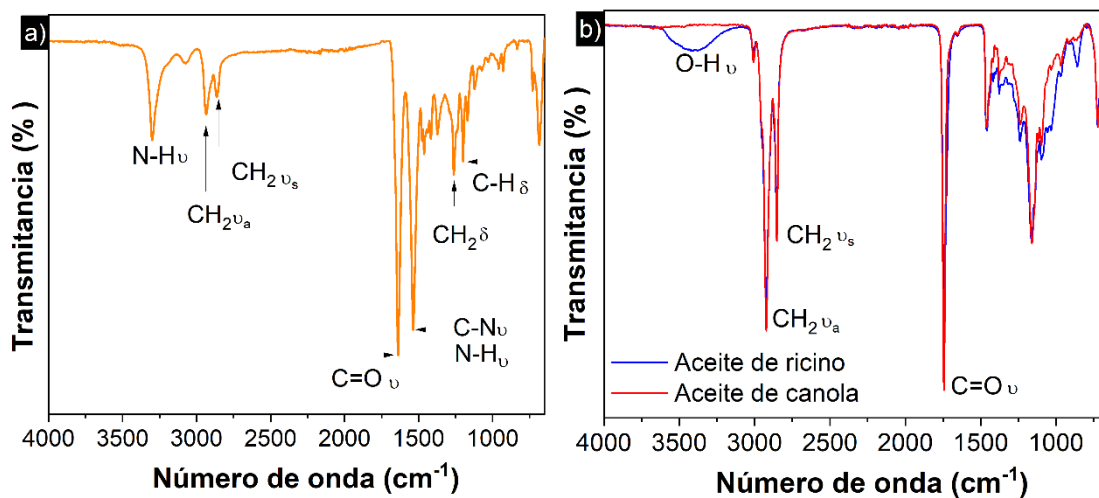


Figura 1. Espectros ATR-FTIR de: a) Nylamid 901 y b) aceites vegetales.

Por otro lado, en la Figura 1b se muestran los espectros de infrarrojo de los dos aceites vegetales utilizados en esta investigación. Se pueden observar dos picos largos entre 3000 y 2800 cm⁻¹ los cuales están relacionados con los enlaces de estiramiento asimétrico y simétrico CH₂. El pico largo en el número de onda 1750 cm⁻¹ corresponde a la señal del grupo carbonilo C=O [9]. Las señales menores de 600 a 1500 cm⁻¹ pertenecen a la huella dactilar de los aceites vegetales [9]. El pico ancho y pequeño alrededor de 3430 cm⁻¹, únicamente presente en el aceite de ricino, corresponde a vibraciones de estiramiento del grupo O-H el cual es la característica única de este aceite.

Estudio de creep

En la Figura 2 se muestran las gráficas del comportamiento de creep del Nylamid 901 para cada condición y de las cuales se obtuvo la constante de creep (k). En la Figura 2a se puede ver que el agua de mar afectó considerablemente el comportamiento de creep del Nylamid 901, ya que presentó un incremento de hasta un 29% (en la primera semana de degradación), y una disminución de hasta un 18% (a la segunda semana de degradación). Sin embargo, bajo este medio de degradación, no se encontró una tendencia clara en la constante

de creep. Por otro lado, en la Figura 2b se puede observar que las muestras de Nylamid 901 degradadas en aceite de ricino presentaron una mejor respuesta de creep. En la primera semana la constante de creep incrementó solo un 7%, pero a partir de ahí fue disminuyendo al incrementar el tiempo de exposición, llegando hasta una disminución de 36% a la tercera semana. Finalmente, en la Figura 2c se puede observar que la constante de creep tiene una tendencia a incrementar con el paso de las semanas de degradación en aceite de canola. En estas condiciones, la constante de creep incrementó hasta un 111% (en la tercera semana de degradación). Una constante de creep menor indica que el material tiene una menor deformación a largo plazo. Con ello, esto podría indicar que el aceite de canola reduciría el tiempo de vida útil del nylamid 901. Así mismo, se puede observar que el aceite de ricino no solo es el medio de degradación que menos afecta la propiedad de creep de material si no que mejora la estabilidad al disminuir la pendiente al paso de las semanas.

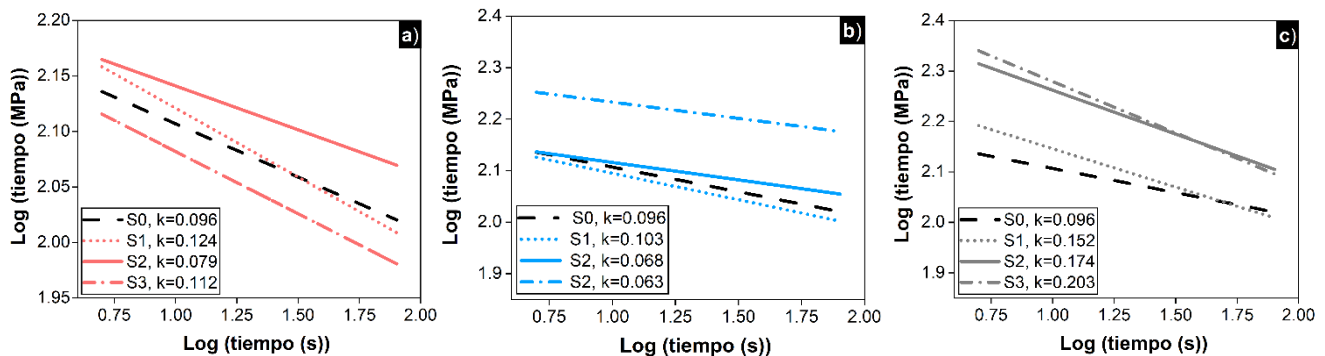


Figura 2. Comportamiento de creep del Nylamid 901 degradado en: a) agua de mar, b) aceite de ricino y c) aceite de canola. Donde S0 representa la muestra sin degradar, mientras que S1, S2 y S3 indican las semanas de degradación.

La Figura 3 muestra una comparación entre la constante de Creep y el valor de dureza en la escala Vickers. La dureza promedio en el Nylamid 901 sin degradación fue de 10.45 HV (102.5 MPa). Para las muestras degradadas mediante agua de mar (Figura 3a) no se observó una correlación o tendencia clara en la dureza con respecto a las semanas de degradación, aunque sí es contrario al comportamiento de creep. Por otro lado, para las muestras degradadas con aceite de ricino (Figura 3b), se puede apreciar una correlación inversa entre la dureza y la contante de creep. En estas muestras, mientras la constante de creep disminuye con las semanas de degradación, la dureza aumenta. Asimismo, se puede ver que las muestras degradadas con aceite de canola (Figura 3c) exhibieron un incremento en la dureza con el aumento del tiempo de degradación, similar al incremento en la constante de creep. Una excepción fue la dureza obtenida luego de tres semanas de degradación, la cual fue ligeramente menor a la observada en la segunda semana. En general, se puede observar que, para las muestras degradadas en agua de mar y aceite de ricino, el incremento en la dureza es beneficioso para disminuir la constante de creep debido a que una mayor dureza permite una menor deformación.

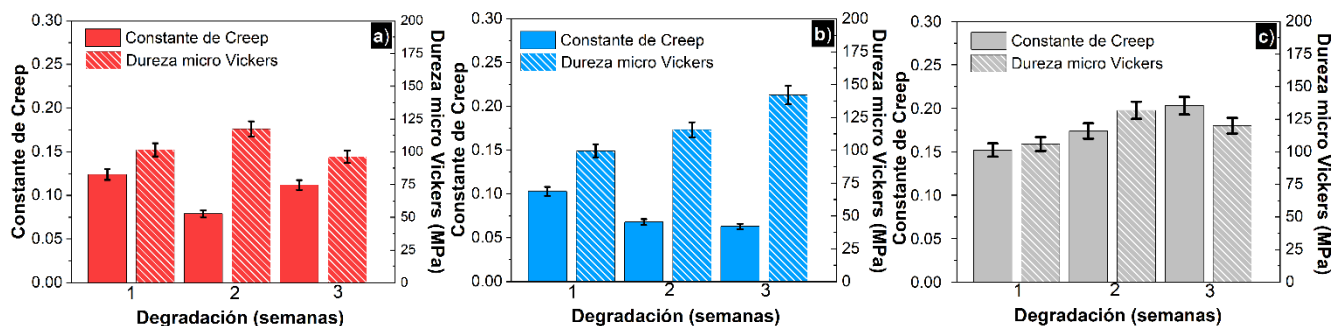


Figura 3. Constante de Creep vs dureza por microindentación Vickers del Nylamid 901 degradado en: a) agua de mar, b) aceite de ricino y c) aceite de canola.

Análisis de la topografía superficial

En la Figura 4 se puede observar la micrografía óptica de la superficie del Nylamid 901 sin degradación, mientras que en la Figura 5 se muestran las micrografías ópticas de las superficies del material luego de tres semanas de

degradación como representativas. No se observó un cambio sustancial en la topografía de las superficies degradadas, por lo que no se puede acertar si es parte de la rugosidad o si contribuyen los remanentes de los aceites, siendo necesario un análisis más puntual como la medición de rugosidad.

En la Figura 5a se puede observar que no existe una clara diferencia entre las muestras degradadas con agua de mar a las tres semanas y la muestra sin degradación. Aunque puede apreciarse en la superficie de la muestra degradada en agua de mar, un aspecto más áspero y rugoso. Por otro lado, las muestras degradadas en los aceites vegetales de ricino y canola (Figuras 5b y 5c) respectivamente, muestran una apariencia más lisa, aunque con pequeñas cantidades de aceite sobre la superficie a pesar de que fueron previamente lavadas con agua destilada y secadas. Se puede observar también que en la superficie degradada en aceite de ricino existe un mayor número de remanentes, a diferencia de las muestras degradadas en aceite de canola que manifiestan una menor cantidad de remanentes de aceite atrapados.

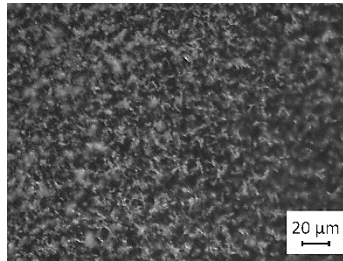


Figura 4. Micrografía óptica de la superficie de Nylamid 901 sin degradación a 500X.

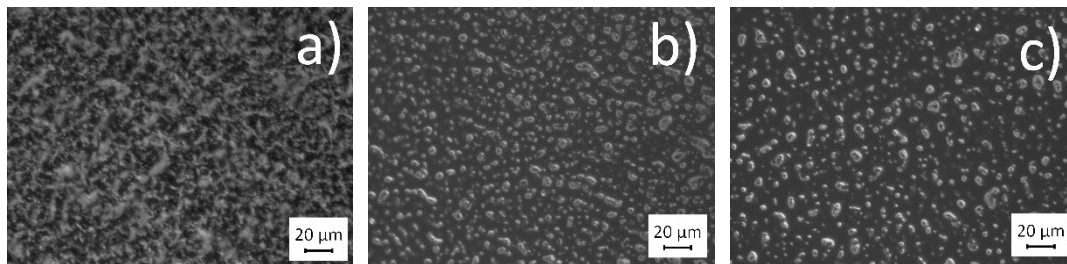


Figura 5. Micrografías ópticas a 500x de las superficies de Nylamid 901 degradadas durante tres semanas en: a) agua de mar, b) aceite de ricino y c) aceite de canola.

A manera de cuantificar el daño en la superficie de las muestras de Nylamid 901 ocasionado por la degradación, se evaluó la rugosidad superficial. En la Figura 8 se muestran los valores de rugosidad (R_a) para las muestras degradadas en las diversas condiciones. Se puede observar que la degradación ocasionó que la rugosidad de la superficie en todas las muestras incrementara. Las muestras degradadas en agua de mar (Figura 8a) presentaron una tendencia a incrementar la rugosidad al paso de las semanas de degradación, llegando a ser un 100% mayor a la rugosidad inicial (tercera semana). Por otro lado, las muestras degradadas en aceite de ricino y canola en la primera semana, incrementaron la rugosidad un 100 % y 60 %, respectivamente. Mientras que en las siguientes semanas la rugosidad fue disminuyendo paulatinamente, llegando incluso a la rugosidad inicial (aceite de canola).

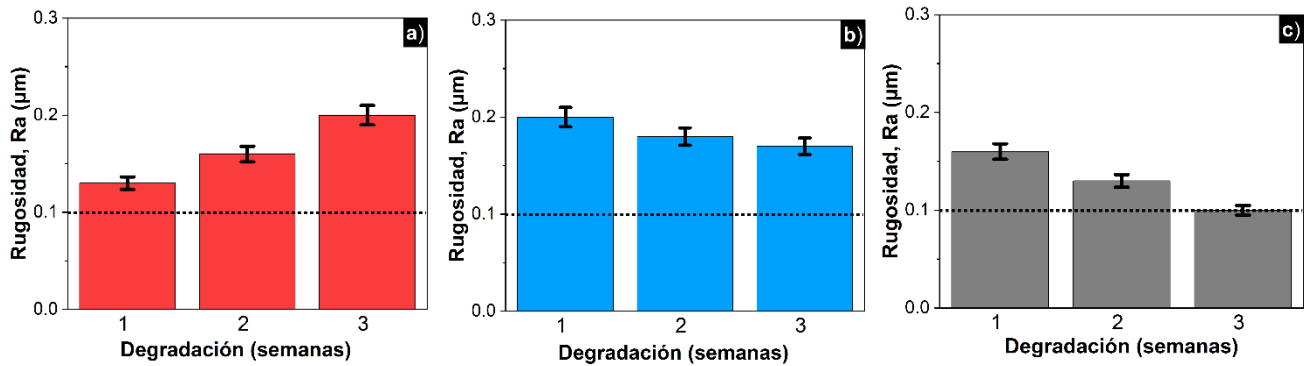


Figura 8. Gráfica de rugosidad (Ra) de las superficies de Nylamid 901 degradadas en: a) agua de mar, b) aceite de ricino y c) aceite de canola.

Análisis de la masa perdida/ganada y el porcentaje de absorción

Las muestras de Nylamid 901 tuvieron una masa inicial de 2.7 g, sin embargo, luego de la degradación presentaron un cambio en esta característica. En la Figura 9 se muestra la masa ganada o perdida después de la degradación, así como el porcentaje de absorción del líquido. Se puede observar que en todos los casos hubo un incremento en la masa y por ende en el porcentaje de absorción, con excepción de la muestra degradada en aceite de canola a las 2 semanas. Sin embargo, en el caso de las muestras degradadas en agua de mar, se aprecia una mayor ganancia de masa a diferencia de las degradadas en los aceites vegetales. Esto puede deberse a que pequeñas partículas de sal quedaron atrapadas debido a la porosidad del material, incrementando la masa total de la muestra.

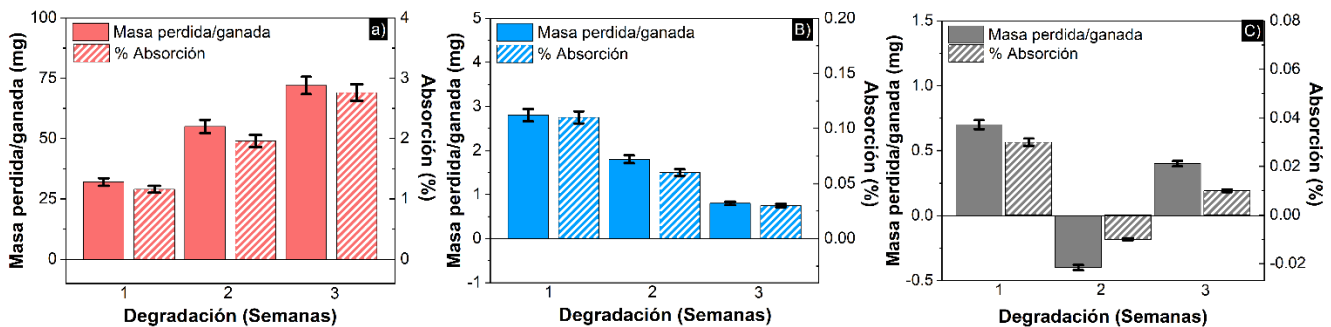


Figura 9. Masa perdida/ganada y porcentaje de absorción del Nylamid 901 después de la degradación en a) agua de mar, b) aceite de ricino y c) aceite de canola.

Análisis de la degradación por FTIR

La Figura 10 muestra los espectros FTIR de las muestras de Nylamid 901 degradadas en los diferentes medios. En todas las muestras se observan diversos cambios en las señales en todo el espectro (Figuras 10a, 10b, y 10c). Se destaca el incremento de una banda ancha alrededor del 3500 cm^{-1} indicando la presencia de enlaces O–H. Esto se puede deber al proceso de hidrólisis, un mecanismo de degradación dominante en las poliamidas, el cual genera un aumento en la cristalinidad [11]. Asimismo, se encontraron cambios en las señales de CH_2 (3000 a 2750 cm^{-1}) y C–H (600 a 1700 cm^{-1}) indicando cambios en la región de la huella dactilar, por lo que podrían estar relacionados con cambios en las fases cristalina y amorfa [11]. Este aumento de la cristalinidad es más notorio en la degradación con aceites lo cual tiene cierta correlación con el incremento de la dureza mostrado en la Figura 3. Por otro lado, en todos los casos se encontró la aparición de un nuevo pico ubicado aproximadamente a 1750 cm^{-1} el cual representa el enlace C=O (Figuras 10d, 10e, y 10f). Dicha señal podría indicar que parte de la degradación del Nylamid en estos 3 diferentes medios, ocurrió por oxidación [10]. Se puede observar que el

aumento en esta señal del grupo C=O es casi constante durante las 3 semanas en las muestras con aceite degradado, mientras que este pico solo aparece en menor medida en las muestras degradadas en agua de mar en la primera y tercera semana.

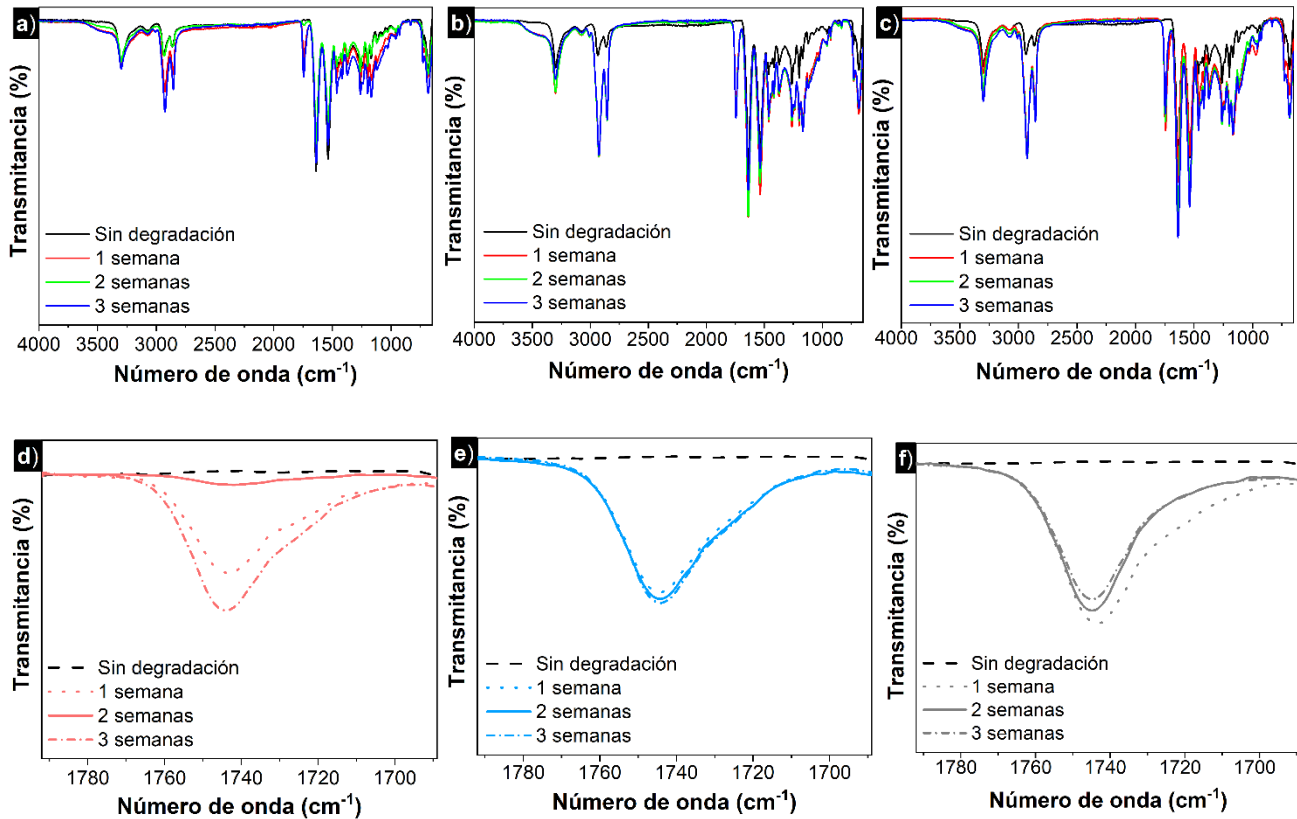


Figura 10. Espectros ATR-FTIR del Nylamid 901 degradado en: agua de mar (a y d), aceite de ricino (b y e) y aceite de canola.

Conclusiones

En este trabajo, se estudió el efecto de la degradación de una poliamida comercial (Nylamid 901) en tres diferentes medios: agua de mar, aceite de ricino y aceite de canola. Derivado del proceso de degradación, se observaron diversos cambios en sus características físicas, químicas, superficiales, así como en la propiedad de creep del polímero las cuales se resumen a continuación:

- Se observó un aumento de la rugosidad en todas las probetas degradadas a lo largo del tiempo. En la degradación en agua de mar la rugosidad es más estable, mientras que en la degradación con aceites se aprecian cambios bruscos de rugosidad.
- Se identificó un mayor aumento en la masa de las muestras degradadas en agua de mar debido a partículas de sal atrapadas.
- Las muestras degradadas en aceite de canola mostraron una tendencia a aumentar la constante de creep, mientras que las degradadas en aceite de ricino mostraron una tendencia a disminuirla. En las muestras degradadas en agua de mar, no se observó una tendencia clara en la constante de Creep.
- La degradación en aceite de ricino mejoró incluso la propiedad de creep en comparación con la muestra no degradada e incrementó su dureza inicial.

Los resultados de esta investigación marcan una pauta importante para la selección de lubricantes para sistemas poliméricos, ya que, contemplando la degradación que sufre el material en tales medios, se podría identificar el lubricante que tendría el menor efecto negativo que lleve a la falla del material.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Tecnológico Nacional de México por el apoyo brindado para la realización de este proyecto TecNM (clave13820.22-P). G. E. Aguilar Cortes agradece el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca brindada para sus estudios de doctorado.

Referencias

- [1] E. Lainé, C. Bouvy, J.-C. Grandidier y G. Vaes, "Methodology of Accelerated Characterization for long-term creep prediction of polymer structures to ensure their service life", *Polymer Testing*, vol. 79, p. 106050, octubre de 2019. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106050>
- [2] J. T. Boyle, J. Spence y Z. P. Bazant, "Stress Analysis for Creep", *Journal of Applied Mechanics*, vol. 51, n.º 3, p. 708, septiembre de 1984. Disponible: <https://doi.org/10.1115/1.3167710>
- [3] M. Sakane *et al.*, "A new extraction method of creep exponents and coefficients from an indentation creep test by multiaxial stress analysis", *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, vol. 107, p. 102522, junio de 2020. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2020.102522>.
- [4] S. Arunkumar, "A Review of Indentation Theory", *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, n.º 11, pp. 23664–23673, 2018. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.156>
- [5] M. Sakane *et al.*, "A new extraction method of creep exponents and coefficients from an indentation creep test by multiaxial stress analysis", *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, vol. 107, p. 102522, junio de 2020. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2020.102522>
- [6] S. H. Hamid, *Handbook of Polymer Degradation*. Taylor & Francis Group, 2020.
- [7] J. Zhang, "Effect of environmental degradation and mechanical properties of polyamide 6-grafted carbon fiber/poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) composites", *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, vol. 28, n.º 7, pp. 973–980, julio de 2013. Disponible: <https://doi.org/10.1177/0892705713495431>
- [8] M. T. Hernández-Sierra, J. E. Marta, L. D. Aguilera-Camacho, J. S. García-Miranda, J. E. Báez-García y K. J. Moreno, "Mechanical and bio-lubricated friction performance of PA6G for gear applications", *MRS Advances*, vol. 5, n.º 59-60, pp. 3055–3064, 2020. Disponible: <https://doi.org/10.1557/adv.2020.398>
- [9] B. Stuart, *Infrared spectroscopy: Fundamentals and applications*. Chichester, West Sussex, England: J. Wiley, 2004.
- [10] S. Liu *et al.*, "Study on the post-irradiation oxidation of polyethylenes using EPR and FTIR technique", *Polymer Degradation and Stability*, vol. 196, p. 109846, febrero de 2022. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2022.109846>
- [11] F. G. d. A. Dias, A. G. Veiga, A. P. A. d. C. P. Gomes, M. F. da Costa y M. L. M. Rocco, "Using XPS and FTIR spectroscopies to investigate polyamide 11 degradation on aging flexible risers", *Polymer Degradation and Stability*, vol. 195, p. 109787, enero de 2022. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2021.109787>

Análisis para la selección del equipo de cocimiento y su instalación en una planta de cocción de vegetales y conservas.

M.I.I. Jesús Raymundo Flores Cabrera¹, Dr. Gabriel Antonio Pérez Castañeda¹, Ing. Enrique Bravo Cruz¹,
M.E. Elizabeth Nelly Huerta Orozco¹, C. Alfonso Palacios Romero¹.

¹Instituto Tecnológico de Tehuacán / Tecnológico Nacional de México, Libramiento Tecnológico S/N, 75790.
Tehuacán Pue. México.
jesusraymundo.fc@tehuacan.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Mecatrónica

Resumen

Dada la importancia de la racionalización energética en estos tiempos y la demanda de calidad en los alimentos que se consumen, y debido a la competencia, la realización de un análisis de los métodos de cocción de dichos alimentos a escala industrial cobra una gran relevancia. Sabemos que existen diversas opciones para poder calentar y cocinar alimentos que van desde el uso de leña o carbón hasta las más modernas estufas eléctricas de inducción o microondas, y aunque no se pretende abarcar todo tipo de alimentos, ya que además existen diversas formas de cocimiento para un mismo tipo de alimento.

En este artículo se intenta formalizar las diferentes opciones de cocción por calor para vegetales, sopas, salsas y conservas, así como el control de temperatura como parte del manejo de calidad del producto, teniendo en cuenta las diferentes necesidades y condiciones de una empresa.

Palabras clave: Cocción por calor, calidad de cocción, control de temperatura de cocción.

Abstract

Given the importance of energy rationalization in these times and the demand for quality in the food that is consumed, and due to competition, an analysis of the methods of cooking these foods on an industrial scale is highly relevant. We know that there are various options to be able to heat and cook food that range from the use of firewood or charcoal to the most modern electric induction or microwave stoves, and although it is not intended to cover all types of food, since there are also various forms of cooking for the same type of food.

This paper attempts to formalize the different heat cooking options for vegetables, soups, sauces and preserves, as well as temperature control as part of product quality management, taking into account the different needs and conditions of a company.

Key words: Cooking by heat, cooking quality, cooking temperature control.

Introducción

Con la finalidad de ser cada vez más competitivas, las empresas deben contar con un control de calidad cada vez más estricto, con una racionalización de los recursos también cada vez más escrupulosa. La energía no es la excepción dado que cada vez es un recurso más apreciado. Cuando se habla del proceso de cocimiento de vegetales o frutas por medio de calor, la energía empleada en el proceso llega a tomar una gran relevancia, especialmente a escala industrial debido a las grandes cantidades de calor que se emplean en dicho proceso, además de que los costos para la generación de dicho calor o bien los cambios de una energía a otra, están cada vez más elevados, considerando que los combustibles son cada vez más escasos y por tanto los costos de estos energéticos son cada vez más altos, es muy importante considerar estos costos en la selección de los equipos.

Es de suma importancia mencionar que se deben cumplir con los estándares tanto de seguridad alimenticia como de seguridad al personal en la toma de decisiones, se debe considerar también si es una planta que cuenta ya con alguna instalación existente de equipos de cocción o si se va a iniciar en una planta nueva, dado que una instalación previa puede hacer una gran diferencia en los costos. Las opciones de calentamiento para cocción de vegetales y frutas son las siguientes: fuego directo, fluidos térmicos (aceites, agua caliente, vapor de agua) y la opción de equipos eléctricos (resistencias eléctricas, inducción, microondas). Como parte de la selección de las opciones para calentamiento debemos considerar la eficiencia, los costos de instalación, los costos del proceso, los costos de mantenimiento, el control de temperatura que influye en la calidad de cocción, la seguridad de las personas, la seguridad alimenticia, entre otros factores que pudieran incluir las diferentes normas nacionales o de la región, así como espacios y otras condiciones.

Como principal problema a resolver, es determinar qué tipo de equipo de cocimiento se va a instalar y de qué forma se va a calentar el equipo, para que se obtengan los mejores resultados en cuanto a calidad del producto. Como suele pasar en las diferentes ramas de la ingeniería se debe realizar una discriminación minuciosa de las técnicas a emplear y una selección escrupulosa de los equipos para que cumplan con las necesidades del proceso. Como parte de los objetivos del proyecto se estructurará una metodología para dicha discriminación y la selección del equipo, no todas las opciones de cocción antes mencionadas existen en el mercado para emplearse a escala industrial, por lo que las existencias en el mercado son una parte trascendental de las acotaciones del proyecto, así como el presupuesto que dispone la planta para dicho proyecto.

Metodología

Este proyecto se enfocó a la investigación tecnológica aplicada, encausada a mejorar la tecnología empleada ya existente, para mejorar la eficiencia en un proceso, por medio del crecimiento de la planta, la selección adecuada de equipos, el control de estos equipos, así como de su correcta instalación.

El trabajo consistió en aumentar la producción con dos equipos de 60 litros para cocción de vegetales y en algún momento de frutas y salsas. Por lo tanto, definir que equipo se empleara para que se obtengan los mejores resultados, basándose en las opciones existentes en el mercado.

Por acuerdo de confidencialidad no se nombrarán los detalles de la planta donde se realizó el proyecto. Los productos con los que la planta trabaja son vegetales y frutas, algunos de estos productos son temporales, de acuerdo a la época del año, pero algunos de ellos se están trabajando en forma constante casi todo el año. Hay materia prima que se está recibiendo todos los meses. Dentro de los vegetales que se procesan podemos nombrar zanahoria, champiñones, maíz, calabacitas, chiles, cebollas entre otros productos que se cocinan para luego ser envasados. En su laboratorio de calidad cuentan con diferentes marmitas para pruebas unas calentadas a fuego directo trabajando con gas LP y otras trabajando con vapor, lo que dio la oportunidad de realizar pruebas para comparar ambos equipos, desafortunadamente no se contó con una marmita calentada eléctricamente, ya que hubiera sido muy interesante contar con estos datos y tener un ejercicio más completo. Se realizaron pruebas de rapidez de calentamiento, diferencia de temperatura en toda la superficie de cocción y el control de temperatura, esto es que tan constante podía mantenerse dicha temperatura.

Como una de las etapas primarias se consideró que la opción más adecuada son las marmitas de volteo de acero inoxidable por su la velocidad de maniobra y su fácil manejo en varios de los procesos que se manejan en la planta. Esta versatilidad le da a la marmita de volteo ventajas en relación a una marmita fija, con sólo válvulas que no funciona muy bien para todos los procesos, ya se contaba con algunas ollas de cocción fijas no muy adecuadas para algunos procesos. Cabe mencionar que para algunos procesos y para algunas formas de calentamiento las marmitas requieren de un agitador para hacer el cocimiento más homogéneo y en algunos casos evitar que se pudiera quemar parte del producto. Las marmitas de volteo son más costosas, pero la administración de la planta considero que valía la pena la inversión como parte de la mejora. Como ya se mencionó, en otra etapa del proyecto se debe decidir con que se calentara la marmita y la viabilidad de cada opción de calentamiento, sin perder de vista los costos de la instalación. De las diferentes opciones de cocimiento a escala industrial los fluidos térmicos son una opción muy viable y utilizada ya por varios años en diferentes procesos, además por otro lado ya se cuenta con equipo de vapor que nos da la ventaja de poder calentar un fluido por medio del vapor o bien emplear directamente el vapor como fluido térmico, por lo que se deben analizar

estas opciones. Si se trata de analizar los diferentes fluidos térmicos viables para el proceso en cuestión, podemos resumir sus características en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación en el empleo de fluidos térmicos [Adaptado de 1]

Vapor de agua	Agua Caliente	Aceite
Alto contenido de calor Calor latente aproximado 2100 KJ/Kg	Contenido de calor moderado Calor específico aproximado 4.19 KJ/Kg °C	Pobre contenido de calor Calor específico entre 1.69-2.93 KJ/Kg °C
Costos elevados por equipo y tratamiento de agua	Costos moderados por equipo y tratamiento de agua	Costos elevados del aceite y el equipo
Excelente coeficiente de transferencia de calor	Moderado coeficiente de transferencia de calor	Relativamente pobre en transferencia de calor
Altas presiones requeridas para altas temperaturas	Altas presiones necesarias para altas temperaturas	Bajas presiones para conseguir altas temperaturas
No se requieren bombas de circulación y la tubería es de diámetros pequeños	Se requieren bombas de circulación y tuberías de diámetros mayores	Se requieren bombas de circulación y tuberías de diámetros aún mayores
Fácil de controlar, inclusive con válvulas de 2 vías	Control más complejo, válvulas de 3 vías o de presión diferencial requeridas	Control más complejo, válvulas de 3 vías o de presión diferencial requeridas
Temperatura de ajuste fácil de conseguir con precisión	Temperatura de ajuste más difícil de conseguir con precisión	Temperatura de ajuste más difícil de conseguir con precisión
Equipo de trampas de vapor necesario	No se requiere equipo de trampeo	No se requiere equipo de trampeo
Se tiene que manejar condensado Se puede emplear vapor flash	No se manejan condensados No hay disponibilidad de vapor flash	No se manejan condensados No hay disponibilidad de vapor flash
Se requiere una caldera para vapor	Se requiere una caldera para agua caliente	Se requiere de algún sistema para calentamiento, aunque no necesariamente una caldera
Se requiere vaporizar el fluido Se requiere un tratamiento de agua estricto	No se requiere vaporizar el fluido Dependiendo de las condiciones, podría requerir tratamiento de agua, aunque quizás no tan estricto	No se requiere vaporizar el fluido No se requiere de tratamiento de agua
Se requiere trabajo de tuberías no tan complejo si se regula la presión	Pudiera requerir trabajo complejo de tuberías, según la presión y el caudal	Requiere trabajo complejo de tuberías, según la presión y el caudal
No hay riesgo de fuego en la sección de producción Sistema muy flexible	No hay riesgo de fuego en la sección de producción Sistema menos flexible	Existe riesgo de fuego en la sección de producción Sistema muy inflexible



Figura 1. Marmitas basculantes calentada con vapor, calentada con gas y calentada eléctricamente respectivamente. [Tomado de 7 y 8].

Desarrollo

Dadas las condiciones de la planta con las instalaciones ya existentes se tomó como primera opción las marmitas de vapor. Al seleccionarse marmitas para el cocimiento, el empleo de otro fluido térmico como es el caso de agua o aceite queda descartado, ya que no se considera viable para estos casos. Y como se pudo probar el uso de vapor cubre la mayor parte de las necesidades de la planta. Las pruebas a marmitas de gas redujeron su aplicación a ciertos procesos como lo podemos observar en la tabla 2.

Tabla 2. Comparativa entre una marmita calentada con gas y una calentada con vapor de agua

	Calentada con gas	Calentada con vapor de agua
Rapidez de calentamiento	Alto desempeño en la elevación de temperatura. Y rápida disposición de temperaturas altas. Por lo que tiene un excelente desempeño en este rubro	Buen desempeño en la elevación de temperatura. Aunque al momento del arranque del sistema de vapor puede demorar algunos minutos, dependiendo del sistema y sus condiciones, puede haber demora en la llegada del vapor y en el calentamiento. Aunque depende del sistema de vapor, podemos decir que el desempeño es bueno en este rubro.
Diferencia de temperatura en la superficie de cocción	Hay bastante diferencia entre la sección que toca la flama en el fondo y las partes altas de las orillas de la marmita, al inicio del proceso de calentamiento por encima de los 25°C. Lo que no es conveniente en algunos procesos. Pobre desempeño en este rubro.	Al inicio del proceso existió una diferencia de temperatura entre la sección donde entra el vapor y las partes lejanas a esta, pero muy rápidamente se empezó a calentar toda la marmita y en unos minutos se tubo una temperatura muy constante en toda la sección enchaquetada de la marmita. Teniendo un desempeño optimo en este rubro.
Control de la temperatura	Con la tecnología que se manejó la marmita de gas requería mucha más supervisión para mantener una temperatura constante que, aunque para algunos procesos no era significativo (cocción en agua), si lo era para otros, (salsas y conservas). Por lo que en este rubro esta marmita tiene un desempeño regular.	Por las características del vapor (vapor saturado) si se controla la presión de este, la temperatura permanecerá constante, y aunque no es una opción económica, si es sencilla desde el punto de vista técnico. Por esta característica podemos decir que esta marmita tiene un desempeño excelente en este rubro.

Selección del equipo

Teniendo establecido el empleo de marmitas calentadas con vapor, se tiene que para los requerimientos de la planta se seleccionaron 2 marmitas calentadas con vapor (camisas de vapor) con capacidad útil de 60 litros y 74 litros máximos aproximados, cada marmita demanda alrededor de 23.8 Kg/h de vapor, el tipo estándar está fabricada para trabajar a una presión de 2.1 Kg/cm². Por lo que para los cálculos se tomara la presión de 2.0 Kg/cm², como presión máxima.

La tubería de alimentación se tomará del cabezal principal "manifold" de vapor que se encuentra a 19 m de distancia de donde se instalaran las marmitas, tomando en cuenta un codo de 90°. Otra sección va del tubo de los 19 metros a cada marmita, considera 3 codos de 90° su longitud es de 2.45 m.

Para la tubería del manifold a las marmitas, tenemos que la cantidad de vapor es la suma de la demanda de las dos marmitas:

$$\text{Marmita 1} + \text{Marmita 2} = \text{Vapor total para ambas marmitas} \quad (1)$$

$$23.8 \text{ Kg/h} + 23.8 \text{ Kg/h} = 47.6 \text{ Kg/h}$$

Por lo que necesitaremos calcular la tubería correcta para que se cumpla con esta demanda. Para el cálculo de los diámetros de tuberías de vapor se pueden considerar dos criterios. “Dimensionamiento de la tubería por velocidad del vapor” y “Dimensionamiento de la tubería por caída de presión del vapor”. En el caso del vapor podemos emplear ambos métodos y considerar el más conveniente dependiendo de nuestras necesidades de servicio y económicos, dado que el no cumplir con uno de los parámetros implicaría tener una cantidad de vapor más reducida o no aceptable en el sistema.

De acuerdo a recomendaciones de los fabricantes de equipos de vapor, para líneas de distribución de vapor saturado un buen rango de velocidad va de los 25 a los 40 m/s, aunque en algunas secciones de la tubería y en algunos equipos y aplicaciones especiales puede llegar a tener una velocidad entre los 15 y los 25 m/s. [2], [5].

Por lo que para el caso del cálculo por velocidad del sistema se considerarán 25 m/s de velocidad.

Cálculo del dimensionamiento de la tubería por velocidad del vapor

Para dimensionar las tuberías según la velocidad del vapor es necesario que el diámetro interno de las tuberías de distribución (\emptyset , en m) se calcule a partir del caudal volumétrico de vapor que se transporta (Q , en m^3/s), y de la velocidad de flujo (v , en m/s), y A área transversal del tubo o ducto (A , en m^2) ecuación (2). A su vez, el caudal volumétrico está relacionado con el caudal másico (\dot{m} , en kg/s) y el volumen específico del vapor (V , en m^3/kg) a la presión de distribución.

$$A = Q / v = \dot{m} \cdot V / v = \frac{\pi}{4} \cdot \emptyset^2 \quad (2)$$

Para el cálculo de las secciones de tuberías dimensionándolos por velocidad de vapor podemos resolverlo por medio de nomogramas o bien empleando la ecuación (3):

$$d = \sqrt{\left(\frac{4}{\pi}\right) \left(\frac{\dot{m} V}{3600v}\right)} \quad (3)$$

Dónde: d = Diámetro de la tubería (m)

\dot{m} : Rango de Flujo del Vapor (kg/h)

v : Velocidad del Vapor (m/s)

V : Volumen Específico (m^3/kg)

Para la 1ª sección, con los datos correspondientes, $\dot{m} = 47.6 \text{ Kg/h}$, $V = 0.61064 \text{ m}^3/\text{kg}$, $v = 25 \text{ m/s}$. Aplicando el nomograma de la figura 1.

El diámetro interior nominal calculado de la tubería queda en el límite entre la tubería ANSI SCh 40 ¾” o la ANSI SCh 80 1”.

Para la 2a sección de tubería de 2.45 m, tenemos que $\dot{m} = 23.8 \text{ Kg/h}$, $V = 0.61064 \text{ m}^3/\text{kg}$, $v = 25 \text{ m/s}$.

Por lo que de acuerdo al nomograma para esta sección la tubería será ANSI SCh 40 ½" o bien ANSI SCh 80 ¾".

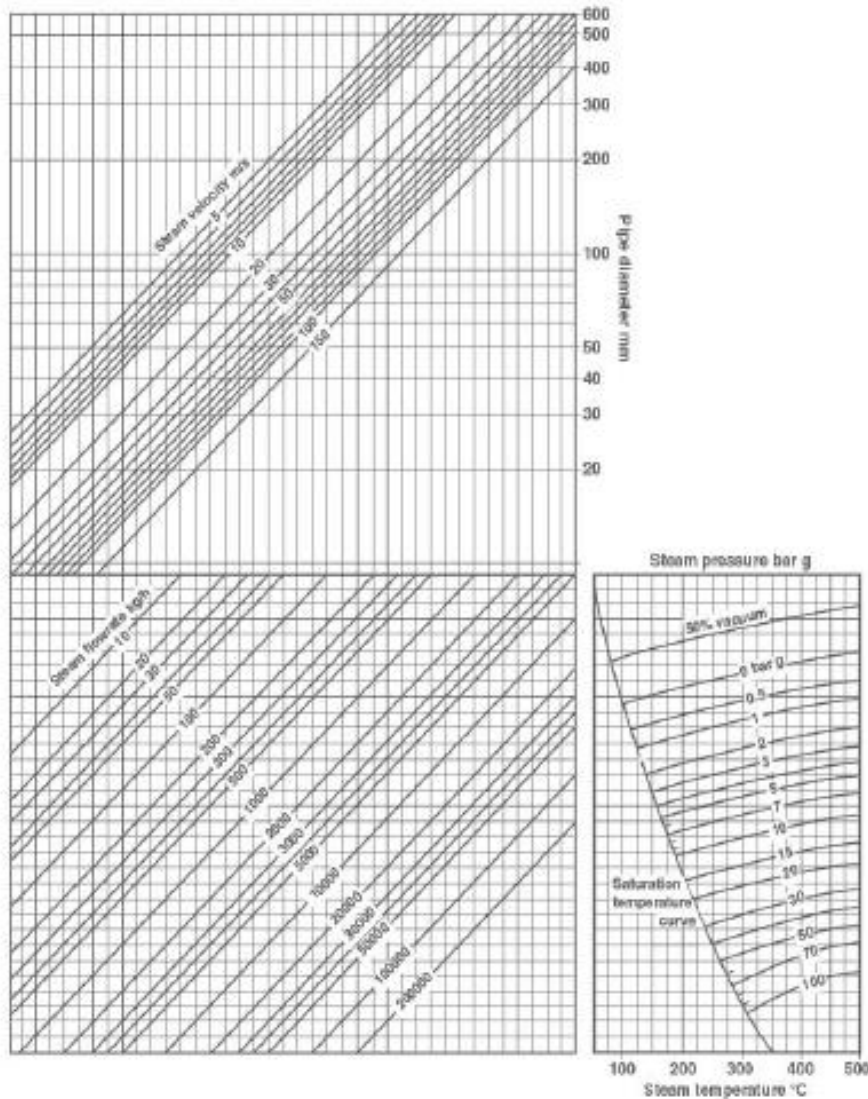


Figura 1. Nomograma de dimensionamiento de tuberías de vapor por **velocidad** [Tomado de 1].

Cálculo de dimensionamiento de tubería por caída de presión

El dimensionamiento de las tuberías según la caída de presión es de suma importancia para mantener la temperatura y la calidad del vapor, y así asegurar un adecuado intercambio de calor en el punto de utilización del vapor. Para la aplicación de este método de cálculo se necesita conocer la presión en el extremo de alimentación de la tubería (P_1) y la presión requerida en el punto de utilización (P_2), además de la longitud (L) y el coeficiente de fricción de la tubería (μ) ecuación (4).

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{P_1 - P_2}{L} = \frac{\mu \cdot v^2}{2 \cdot \phi \cdot V} \quad (4)$$

Una de las dificultades de aplicar este método de cálculo implica determinar el factor de fricción de la tubería que, según la ecuación 5, varía con la rugosidad relativa de la tubería ($\varepsilon / \varnothing$) y con el número de Reynolds (Re).

$$\frac{1}{\sqrt{\mu}} = -2 \cdot \log_{10} \left[\frac{\varepsilon / \varnothing}{3.7} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\mu}} \right] \quad (5)$$

Existen también otras fórmulas para expresar las pérdidas de carga en tuberías, desde los primeros experimentos conocidos, realizados por Couplet en 1732, hasta los resultados publicados por Darcy en 1857, que fue el primero en tener en cuenta la influencia que ejerce el estado de las paredes interiores de la tubería en la cuantificación de las pérdidas de carga [8]. A partir de este conocimiento fundamental numerosos investigadores propusieron fórmulas para expresar las pérdidas de carga por fricción en las tuberías.

También se puede determinar la caída de presión y el diámetro de la tubería considerando el límite de dichas caídas por medio de fórmulas empíricas y nomogramas que han demostrado su buen funcionamiento a través de los años.

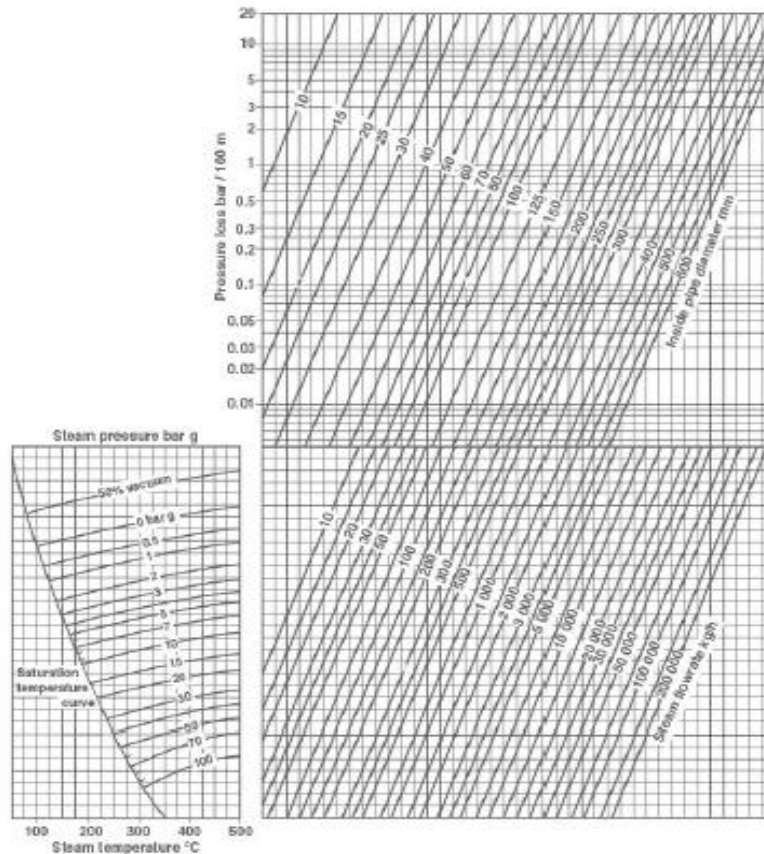


Figura 2. Nomograma de dimensionamiento de tuberías de vapor por **caída de presión** [Tomado de 1].

No podemos dejar de dar importancia a las aplicaciones, hojas de cálculo y software que diferentes fabricantes han puesto a disposición para los diferentes cálculos de ingeniería de vapor y que cada vez facilita más el trabajo a las personas involucradas en estos sistemas de vapor [3].

Para la 1ª sección de tubería que va del “manifold” a la parte alta de las marmitas, el cálculo de dimensionamiento de tuberías por el método de caída de presión será el siguiente.

Empleando los datos del proyecto en el nomograma tenemos $\dot{m} = 47.6 \text{ Kg/h}$, $V = 0.61064 \text{ m}^3/\text{kg}$, $v = 25 \text{ m/s}$.

De acuerdo al nomograma tenemos los siguientes resultados: $\varnothing = \text{ANSI SCh 40 NPS } 1''$ o bien $\varnothing = \text{ANSI SCh 80 NPS } 1''$. Considerando una caída de presión máxima de 1 PSIG.

Para la 2ª sección que va de la parte alta de las marmitas a las marmitas mismas tenemos: $\dot{m} = 23.8 \text{ Kg/h}$, $V = 0.61064 \text{ m}^3/\text{kg}$, $v = 25 \text{ m/s}$.

Considerando los resultados del nomograma: $\varnothing = \text{ANSI SCh 40 NPS } 3/8''$ o bien $\varnothing = \text{ANSI SCh 80 NPS } 1/2''$. Considerando una caída de presión máxima de 1 PSIG.

Como parte de la instalación se debe considerar un regulador de presión para el vapor además de seleccionar una buena trampa de vapor ya sea una para las dos marmitas o bien seleccionar una trampa por cada marmita. También se deben considerar dos válvulas de venteo para romper el vacío en caso de una condensación súbita y por supuesto el control de temperatura.

En lo que concierne a las trampas de vapor los fabricantes de estas, recomiendan para esta aplicación las de tipo termostáticas de presión balanceada. Dado que pudieran tenerse cocción de diferentes productos lo ideal es emplear una trampa por marmita, las tuberías se aislaron con una pulgada de fibra de vidrio y con lamina de aluminio ya que en invierno las temperaturas suelen bajar considerablemente.

En la selección de tuberías para vapor se selecciona el diámetro mayor que haya resultado de los cálculos por velocidad o por caída de presión, si es que es crítica la cantidad de vapor a suministrar al equipo. En los casos donde no sea crítica la cantidad de vapor, se trabaja sobre la cantidad mínima de vapor que se pueda emplear y se suelen reducir los diámetros por economía, para el caso de este proyecto, si se considera crítica la cantidad de vapor que se suministra a los equipos, ya que de tener un error de sub-dimensionamiento resultaría en una falta de eficiencia, con fluctuaciones probables en la temperatura y más tiempos de proceso, y en caso de sobre-dimensionamiento los costos se elevarían.

La tubería de condensados se consideró de acuerdo al volumen de vapor: $\varnothing = \text{ANSI SCh 40 NPS } 1/2''$ o bien $\varnothing = \text{ANSI SCh 80 NPS } 1/2''$

Resultados

Las pruebas de cocción y de la calidad del producto terminado fueron las esperadas, dando resultados muy positivos, reafirmando que la selección de equipos fue exitosa. Dado que se hizo énfasis en la parte técnica no se mostraron los presupuestos ni el estudio de recuperación de la inversión, aunque se pretende recuperar la inversión en un tiempo de cuatro años y medio. El sistema cuenta con un regulador de presión que disminuye esta de los 7.1 Kg/cm^2 de la caldera a los 2 Kg/cm^2 , la presión máxima a la que trabajan las marmitas, además de una válvula moduladora para el control de la temperatura, el sistema de control de temperatura controla esta válvula por medio de un controlador PID que da la opción de un control de temperatura bastante preciso cumpliendo con las expectativas del equipo de producción.

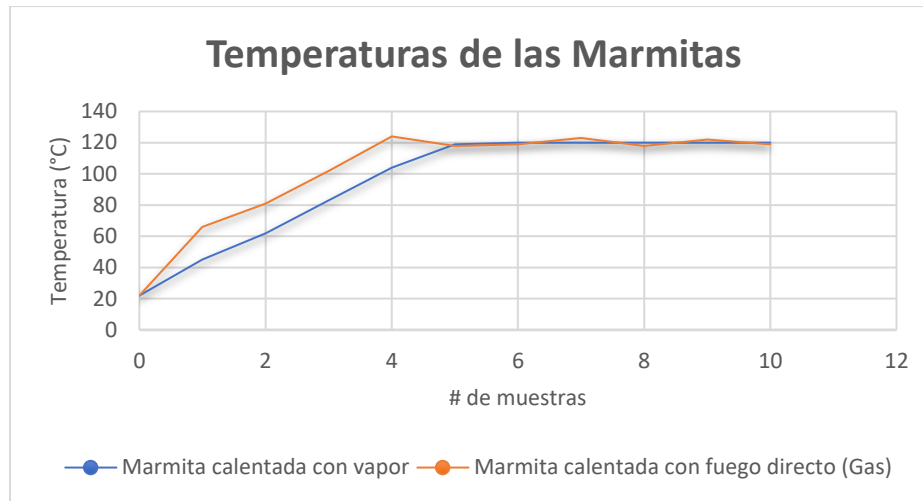


Figura 3. Grafica comparativa de temperaturas entre una marmita calentada por vapor y otra calentada por gas.

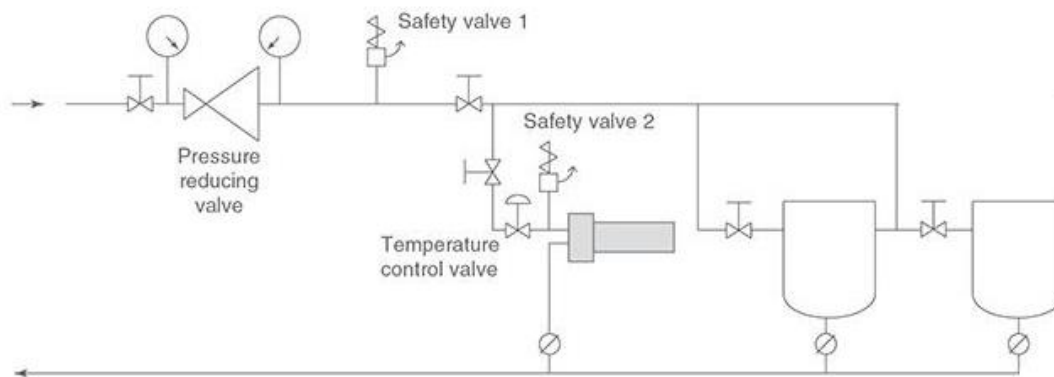


Figura 4. Arreglo del circuito de vapor en las marmitas [Adaptado de 1].

Trabajo a futuro

Existe la oportunidad de hacer un análisis del desempeño de la forma de calentar con una marmita eléctrica, así como el estudio de la instalación de estas. Es importante mencionar que si se realizó el proyecto con marmitas calentadas con vapor fue por la comparación de resultados, así como de las experiencias del personal de producción, considerando el tipo de producto a cocer, además de que se contaba con vapor disponible para este tipo de marmita, con esto no queremos decir que las marmitas eléctricas o de quemadores de gas se descarten del todo, cada una de ellas cuenta con ventajas y desventajas que deben analizarse para cada proceso.

Otro factor que puede manejarse con mucho detalle, es un estudio de eficiencia energética entre marmitas que, aunque en este proyecto se consideró ampliamente la eficiencia energética, con el cuidado en los aislamientos y el manejo de condensado, no se hizo una comparativa energética dado que no era el objetivo de este trabajo.

Conclusiones

Se concluyó que las experiencias del personal de la planta donde se realizó el proyecto fueron una base fundamental para el desarrollo del mismo. Que además la selección del equipo fue exitosa, dando los niveles de calidad que esperaban en la cocción de los alimentos que se procesan, esto gracias a los equipos de control con

los que se cuenta actualmente ya que, aunque el vapor es un recurso muy viejo empleado desde hace muchos años, el control electrónico y la tecnología de servo-válvulas hacen de estos equipos algo sin precedentes.

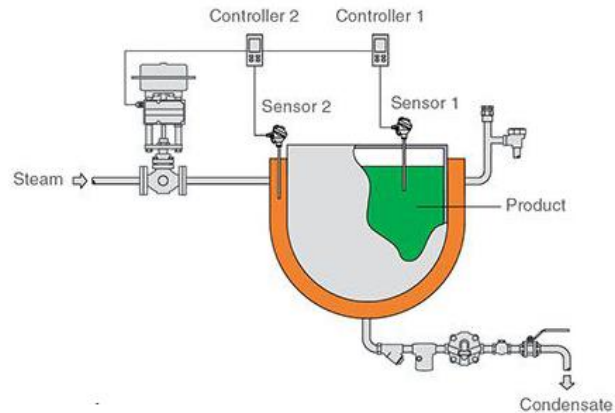


Figura 5. Arreglo del sistema de control de temperatura en las marmittas [Tomado de 1].

Referencias

- [1] Spirax Sarco. *The steam and condensate loop*. Gloucestershire, England: Spirax-Sarco Limited, 2014.
- [2] Spirax Sarco. *Distribución del Vapor*. Madrid, España, España: Spirax-Sarco, FNMT-RCM, 2010.
- [3] TLV. tlv.com. *Obtenido de TLV Compañía Especialista en Vapor*: <https://www.tlv.com/global/LA/> 2022.
- [4] ASHRAE. *Fundamentals of Steam System Design*. Atlanta, GA: ASHRAE, 2006.
- [5] E.B. Wooddruff, H.B. Lammers, & T.F. Lammers, *Steam Plant Operation*. New York, USA: Mc Graw Hill Education, 2017.
- [6] Scribd. <https://es.scribd.com/doc/52706935/LONGITUDES-EQUIVALENTES-A-PERDIDAS-LOCALIZADAS>, 1999.
- [7] CITRUS. *Catalogo Citrus 2021*. Ciudad de México: Citrus, 2021.
- [8] INTERTECNICA. *Catalogo Intertécnica 2021*. Ciudad de México: Intertécnica, 2021.
- [9] D. Pérez Franco, J.A. Echeverría. *Evolución histórica de las fórmulas para expresar las pérdidas de carga en tuberías. Segunda parte: Desde los trabajos de Darcy hasta los de Stanton. Segunda parte: Desde los trabajos de Darcy hasta los de Stanton.* "Ingeniería Hidráulica y Ambiental, vol. 23, no. 3, Sept. 2002, pp. 3+." *Gale OneFile: Informe Académico*, 2022. link.gale.com/apps/doc/A146838684/IFME?u=anon~ef4db221&sid=googleScholar&xid=6d3e2554.

Potencial de aplicación de biomasa de residuo forestal como fuente de energía renovable

Jorge Bedolla-Hernández^{1*}, Vicente Flores-Lara², Marcos Bedolla-Hernández³, José Michael Cruz-García⁴, Efrén Sánchez-Flores⁵

¹Tecnológico Nacional de México / IT de Apizaco, jorge.bh@apizaco.tecnm.mx, ²Tecnológico Nacional de México / IT de Apizaco, vicente.fl@apizaco.tecnm.mx, ³Tecnológico Nacional de México / IT de Apizaco, marcos.bh@apizaco.tecnm.mx, ⁴Tecnológico Nacional de México / IT de Apizaco, psp.3030@apizaco.tecnm.mx, ⁵Tecnológico Nacional de México / IT de Apizaco, efren.sf@apizaco.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica

Resumen

Se presenta el análisis de residuos forestales de tres tipos de árbol, pino, encino y oyamel, como alternativa de fuente de energía. Se consideran residuos de la madera fragmentados y en tiras, típicos resultantes de actividades forestales. Se analiza la disponibilidad de tales residuos para una región boscosa del estado de Puebla. Se toman en cuenta esos tipos de árbol ya que en México los encinos se considera el segundo recurso forestal maderable más importante después del pino. Se analizan los componentes principales de esa biomasa a través de pruebas experimentales, y se determinan valores de presión y temperatura en la generación de vapor por combustión de esa biomasa. El análisis se realiza sobre residuos prácticamente sin procesar, para limitar la cantidad de energía aplicada en el preproceso. Los resultados muestran que los residuos forestales analizados son viables para la generación de vapor de agua, lo que permite considerarlos para accionamiento de sistemas de generación eléctrica.

Palabras clave: Biomasa, energía, fuente de energía alternativa, residuo forestal.

Abstract

The analysis of forest residues from three types of trees (pine, oak and oyamel) as an alternative energy source is presented. Fragmented and shredded wood residues, typically resulting from forestry activities, are considered. The availability of these residues in Mexico, particularly in a forested region of Puebla, is analyzed. In Mexico, oak is considered the second most important timber resource after pine. The main components of biomass are analyzed through experimental tests and pressure and temperature values are determined for steam generation by biomass combustion. The analysis is performed on practically unprocessed biomass to limit the amount of energy applied in the preprocessing. The results show that the analyzed forest residues are viable for steam generation, which allows them to be considered for power generation systems.

Key words: Alternative energy source, biomass, energy, forest residues.

Introducción

La aplicación de la biomasa forestal y de residuo forestal, como una fuente alterna de energía renovable ha adquirido especial interés en la actualidad [1]. Este tipo de biomasa incluye residuos forestales que se generan por las diversas actividades primarias extractivas propias de los productos forestales, y que, junto con actividades estacionales del cultivo de árboles, producen residuos forestales. También, como parte de las actividades extractivas de productos forestales se considera que en la cosecha integrada de esos recursos se obtienen principalmente dos familias de productos: (1) productos para uso estructural e industrial y (2) nuevos productos que se generan para uso energético o bio-refinamiento a partir de la recolección de biomasa de los residuos forestales del primer grupo [2]. La biomasa sólida de residuos forestales como materia prima presenta diversas configuraciones, y entre otras consiste en ramas, opas, serrín o materiales no maderables. El reciente interés en reconsiderar residuos forestales dentro de las alternativas para su uso posterior como fuente alterna de energía, se deriva principalmente de la consideración que la energía obtenida de ese tipo de biomasa es "neutra en carbono" [3]. Lo cual resulta de interés para las políticas actuales de combustibles que sean amigables con el ambiente. Al respecto se han reportado diversos estudios para la aplicación de la biomasa forestal y sus residuos como fuente de energía alterna renovable, por ejemplo, en la región que se denomina BRICS (que la componen

Brazil, Rusia, India, China y Sudáfrica) se realizan análisis para intentar establecer la relación que existe entre el uso de la energía de biomasa y el desarrollo humano [4].

Para el aspecto bioenergético de los productos forestales resulta común que en muchas situaciones solo se consideren los residuos que se producen de otras actividades, que se establecen como más rentables que los combustibles. Donde en principio, se considera que se obtiene productos más valiosos que los biocombustibles, ejemplo de estos productos son elementos maderables, la celulosa para papel, postes de madera, entre otros [5]. Sin embargo, aún si se consideran que solo los residuos forestales y/o agrícolas pueden constituirse como fuente alterna de energía, se ha establecido que ese tipo de residuos disponibles en México representaron una producción potencial de energía estimada en 87.94 millones de toneladas de materia seca por año en 2019 [6]. Donde se ha comprobado a través de la experiencia, que es claro que la fuente de biomasa más comúnmente usada en forma tradicional como fuente de energía son los residuos de madera, los cuales tiene aplicación tanto en forma directa en diferentes condiciones como para la producción de electricidad, calentamiento, transporte y cocina [7]. Es inevitable dentro del proceso de producción de madera y derivados de la misma que invariablemente resulte la generación de residuos de esos productos; donde se ha establecido que los mismos pueden dividirse principalmente en dos clases dependiendo del proceso del que se derivan: (1) de operaciones de recolección y extracción y (2) de proceso de fabricación de madera. Donde también se establece que dentro de esos procesos solo el 28 % del total de un árbol se usa como madera [8] y el resto se constituye en residuos, los cuales que pueden tener un valor agregado al aprovecharse como fuente de energía renovable. Entonces, se han planteado estudios que indican que es posible establecer de forma local el tamaño de una planta generadora de potencia eléctrica [9], esto basado en la cantidad disponible de residuos forestales para la generación de electricidad y considerando todos los factores que intervienen en el proceso de conversión para la generación de electricidad.

México tiene recurso forestal considerable, donde el aprovechamiento de la biomasa forestal para energía tiene un potencial estimado de entre 1,923 y 1,135 PJ/año [10]. Esto se hace más evidente en determinadas regiones, donde este estudio en particular considera una región en el estado de Puebla, donde predominan los bosques de coníferas, encinos. Esto además de regiones de selvas de diferentes tipos de biomasa como son matorrales, pastizales, así como, bosques de montaña y bosques templados. Para la cual la superficie con potencial para aprovechar recursos forestales, principalmente maderables, es la que está cubierta por vegetación arbórea de bosque, correspondiendo a bosque de clima templado frío, básicamente bosque de pino, pino-encino, encino, encino-otras hojosas, y bosque de oyamel. Del cual se estima que se tendría una superficie aprovechable de aproximadamente 76,114 hectáreas [11]. Junto con el residuo forestal, es necesario al considerarlo como combustible, que la combustión de este tipo de biomasa se beneficia con una adecuada preparación del combustible. Por lo cual combustibles de ese tipo por encima del 60 % de humedad pueden ser difíciles de quemar y por lo que se requiere de establecer procesos adicionales de secado [12], que pueden ser parcialmente pasivos para limitar el consumo de energía en el preproceso y que contribuyan a la mejora en el proceso de aprovechamiento del residuo forestal.

De acuerdo con lo anterior, para el presente estudio se considera analizar el potencial de aprovechamiento de la biomasa de residuos forestal de una de las regiones con recurso maderable del estado de Puebla; en específico que la conforman los municipios que presentaron más producción forestal, entre los cuales se encuentran Chignahuapan, Ixtacamaxitlán y Zacatlán. El estudio se centra en el análisis de alternativa del residuo de biomasa forestal de encino, pino y oyamel como potencial de fuente de energía a partir de recurso renovable. Ya que en México los encinos son considerados como el segundo recurso forestal maderable más importante después del género pino. Para el estudio se analizan los componentes principales que conforman la biomasa de interés a través de pruebas experimentales y se determinan los valores de presión y temperatura que se obtiene de esos residuos por fracción de masa del residuo forestal. Lo anterior se basa en que la biomasa como residuo forestal típicamente tiene dos roles como fuente de energía, a) combustibles procesados y b) combustibles no procesados; donde este estudio se enfoca en el aprovechamiento de los residuos prácticamente sin procesar, salvo el proceso de secado natural. Esto con el objeto de limitar la cantidad de energía aplicada en el preproceso del combustible y explorar las características viables de aplicación de los residuos como fuente de energía renovable alterna.

Metodología

Los materiales analizados como combustible a partir de la biomasa sólida, para el estudio proceden de residuos forestales, los cuales se recolectan después de que se han realizado las actividades primarias con ese recurso

forestal y se considera de más valía. Entonces, la biomasa de residuo forestal así obtenida se clasificó como parte de la recolección por tamaño y por el árbol del que procede. Por el tipo de árbol se consideraron tres tipos: a) encino, b) pino y c) oyamel. Por el tamaño se consideraron dos grupos principales: (1) biomasa fragmentada, que consistió en trozos de 2 cm a 8 cm de longitud y de 2 cm (aproximadamente) de espesor; y (2) biomasa en tiras que consistió en trozos de 17 cm a 25 cm de longitud y de 2 cm (aproximadamente) de espesor. Una imagen representativa (sin escala) de los tipos de biomasa considerada para el estudio se muestra en la Figura 1.

Para la clasificación e identificación de las pruebas realizadas y sus correspondientes resultados, se establece la siguiente nomenclatura que relaciona los diferentes tipos de biomasa en análisis: BFP: Biomasa fragmentada de pino, BFE: Biomasa fragmentada de encino, BFO: Biomasa fragmentada de oyamel, BTP: Biomasa en tiras de pino, BTE: Biomasa en tiras de encino, BTO: Biomasa en tiras de oyamel. Posterior a la clasificación del tipo de combustibles, la biomasa se coloca al sol para propiciar el secado y mejorar el proceso de combustión.

Dado que se considera a la biomasa como combustible, en este caso la forma de relacionar su potencial se establece a partir de la generación de vapor por unidad de biomasa. Para generar vapor y establecer las características del combustible de cada uno de los tipos de biomasa incluidos en el análisis, se realizarán una serie de 3 pruebas en cada caso, para definir la referencia del combustible. En estas pruebas de referencia para cada una de las pruebas se considera 1 kg de combustible inicialmente, con lo cual, de acuerdo los tipos de árbol y formas de la biomasa (fragmentada o en tiras) se conforma un conjunto 18 pruebas.

Posterior a las pruebas con 1 kg de biomasa para la referencia, se plantea la realización de otras series de pruebas para cantidades de 0.5 kg, 1.5 kg, 2 kg y 2.5 kg de cada forma y tipo de biomasa en análisis. En función de la prueba en algunas de estas se incluye un catalizador (50 ml de thinner) al inicio del proceso de combustión para reducir el tiempo de ignición.

Para al inicio de la combustión, se realizan dos configuraciones iniciales diferentes de la distribución de la biomasa en el hogar de combustión, esto dependiendo del tipo de biomasa que se introduce en la cámara de combustión. Para la biomasa fragmentada, por las condiciones propias de sus dimensiones se usa un acomodo piramidal inicial antes de la combustión, para la biomasa en tiras se realiza el acomodo de esta en forma vertical configurando rejillas en la cámara de combustión.

Posterior al acomodo de la biomasa, se realiza el proceso de combustión con la quema de misma. Para lo cual, en la generación de vapor se usa un tanque cerrado sobre la cámara de combustión que contiene agua al inicio del proceso, que con los gases de la combustión se convierte en vapor. Este tanque tiene capacidad para 26.5 litros y su presión interna segura de diseño se establece de 862 kPa. Para realizar las pruebas, al inicio de cada una de éstas el tanque contendrá una cantidad de 10 litros de agua. Las pruebas por realizar con esa caldera para la generación de vapor, tienen el objetivo determinar el comportamiento de la temperatura y la presión máxima alcanzada por una unidad de masa del combustible. Esto además, del tiempo que dura la combustión, tiempo de ignición y tiempo que tarda en alcanzar la temperatura máxima, para así poder establecer una relación con esos parámetros y con los diferentes tipos de biomasa analizados.

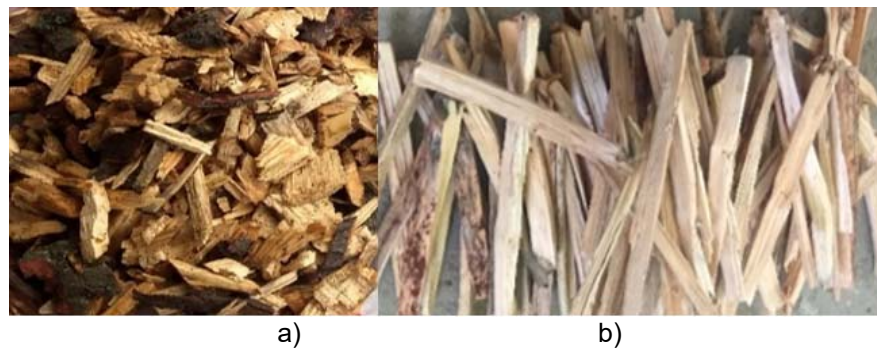


Figura 1. Tamaños de biomasa sólida, donde: a) biomasa fragmentada y b) biomasa en tiras.

Materiales y equipo

Caldeara de pruebas (ver sección de preparación)
Válvula de alivio de la caldera a 862 kPa
Termómetro analógico de 0-300 °C
Agua a temperatura ambiente
Recipiente graduado de 2 litros
Báscula para 10 kg
Madera seca fragmentada de encino, pino y oyamel
Madera seca en tiras de encino, pino y oyamel

Preparación y desarrollo

Para los diferentes tipos de la biomasa usada (tipo de árbol y forma), ya sea fragmenta o en tiras, para la obtención de vapor se sigue prácticamente el mismo proceso, solo se modifica la configuración inicial que la biomasa adopta antes de la ignición en la cámara de combustión. El procedimiento general consiste en lo siguiente:

1.- Se inicia con el llenado del tanque cerrado con 10 litros de agua. El agua se introduce por un embudo y una vez que se tiene la cantidad se cierran las válvulas del tanque, para que posteriormente se genera la presión interna al calentar el tanque con la combustión de la biomasa. En la Figura 2 se muestra la representación del sistema de combustión y la instrumentación en el tanque.



Figura 2. Sistema de generación de vapor que incluye cámara de combustión, válvulas e instrumentos de medición para las pruebas.

2.- Se pesa la cantidad (y tipo) de biomasa a usar en la correspondiente prueba. La figura 3 muestra un esquema representativo de la cuantificación de la biomasa para la prueba, la cual tuvo un proceso pasivo de secado para retirar humedad. La diferencia entre la biomasa húmeda y la biomasa seca se presenta en la sección de resultados.



Figura 3. Cuantificación de la biomasa para las pruebas para las pruebas de combustión.

3.- Se registran las lecturas iniciales de los instrumentos de medición del recipiente cerrado antes del inicio del proceso de combustión.

4.- Para la primera serie de pruebas se introduce 1 kg de biomasa en la cámara de combustión. Para la biomasa fragmentada se forma una configuración de pirámide y se agrega 50 ml de (thinner en estas pruebas) catalizador esparciendo en toda la pirámide de combustible. Si se trata de biomasa en tira se realizan paquetes de 0.2 kg que se mantiene unidos con un alambre y se acomodan verticalmente en la cámara de combustión.

5.- Se procede al inicio del proceso de combustión de la biomasa, para posteriormente tomar lecturas a intervalos de 3 minutos de los parámetros a medir en el tanque cerrado.

Dado que la humedad, las cenizas, la materia volátil y el carbón fijo que forman parte del combustible o del proceso de combustión, pueden influir en las propiedades, se realiza un análisis de estos parámetros para una cantidad 1 kg de biomasa en cada caso. Para cuantificar y aproximar esos parámetros se realiza un análisis aproximado y un análisis definitivo como se indica a continuación.

Análisis aproximado

1.- El contenido de humedad (CH) se establece como la cantidad de agua presente en la biomasa y se obtiene una vez que el material pasa por el proceso de secado como porcentaje de pérdida de peso, de acuerdo como se indica en la ec. (1).

$$CH = \frac{m_h - m_s}{m_s} * 100 \quad (1)$$

2.- El contenido de cenizas (CC) se establece como el residuo que permanece después del tiempo de combustión total de la biomasa. El porcentaje se calcula pesando el residuo después de la quema, y se establece de acuerdo con la ec. (2).

$$CC = \frac{m_{cen}}{m_s} * 100 \quad (2)$$

3.- El material volátil (MV) se establece calentando la biomasa en un horno cerrado durante 10 minutos y enfriando a temperatura ambiente. La pérdida de peso da como resultado el porcentaje de material volátil, como se indica por la ec. (3).

$$MV = \frac{m_s - m_{nv}}{m_s} * 100 \quad (3)$$

4.- El carbón fijo (CF) se obtienen restando el conjunto de CH, CC y MV de la masa de no volátiles, como se indica en la ec. (4).

$$CF = \frac{m_{nv} - m_{cen}}{m_s} * 100 \quad (4)$$

Donde para las ecs (1)-(4) se tiene que: m_h y m_s son las masas en g del sólido húmedo y seco, respectivamente, m_{cen} es la masa de las cenizas, m_{nv} es la masa de no volátiles obtenidos después de realizar la prueba de volátiles.

Análisis de elementos

Los valores de carbón, hidrógeno y nitrógeno en el proceso de combustión se calculan a partir de los valores aproximados previos y usando las ecuaciones (5)-(7).

$$\%C \text{ (carbón)} = 0.97CF + 0.7(MV + 0.1CC) - M * (0.6 - 0.01CH) \quad (5)$$

$$\%H_2 \text{ (hidrogeno)} = 0.036CF + 0.086(MV - 0.1CC) - 0.0035CH^2(1 - 0.02CH) \quad (6)$$

$$\%N_2 \text{ (nitrógeno)} = 2.10 - 0.020MV \quad (7)$$

Para analizar el proceso de combustión de la biomasa y su relación con los parámetros obtenidos del proceso en las pruebas realizadas con 10 litros de agua, se consideran los siguientes parámetros: tiempo de ignición de combustión (Ti) que se refiere al tiempo que en el que se introduce la flama de ignición hasta que se mantiene la llama encendida en la biomasa; temperatura máxima alcanzada en el tanque (Q) durante todo el proceso de combustión y se considera una vez que el termómetro no presenta cambios durante más de 4 minutos; aumento de la temperatura por la biomasa (ΔQ) que corresponde a la temperatura máxima menos la temperatura inicial;

Tiempo de temperatura máxima (T_{tm}) que es el tiempo posterior a la ignición y hasta que se alcanza la temperatura máxima; presión máxima (P_m) durante todo el proceso de combustión, tiempo de presión máxima (T_{pm}) que es el tiempo desde la ignición hasta que se alcanza la presión máxima; velocidad de combustión (V) que es la relación de masa consumida entre el tiempo total; tiempo de flama (T_f) que es el tiempo que se mantiene la flama encendida, tiempo de carbón encendido (T_c) que es el tiempo posterior a la flama visible pero con temperatura mayor a la del ambiente; tiempo total de combustión (T_t) que es la suma de los tiempos T_f y T_c. Estos parámetros obtenidos para las pruebas con la biomasa se presentan en la sección de resultados.

Resultados y discusión

Análisis aproximado

Como se indicó previamente, se considera la biomasa sólida de cada uno de los tipos y tamaños analizados y se establece su masa en condiciones seca y húmeda para estimar sus componentes aproximados, para el proceso de combustión. También, en el análisis aproximado propuesto en las ecs. (1)-(4), para determinar los valores CC y MV se realizaron 3 pruebas bajo las mismas condiciones para 1 kg de residuo forestal seco de biomasa sólida. Los resultados promediados de las tres pruebas para cada uno de los tipos de biomasa analizados se presentan en la Tabla 1, donde para el caso del parámetro MV se determinó a través de un horno con temperatura constante a 250 °C.

Tabla 1. Resultados de análisis aproximado.

Clasificación de biomasa	Húmeda [kg]	Seca [kg]	CH	CC	MV	CF
BFP	14.09	11.59	21.62	12.4	1.7	85.9
BFO	15.41	14.23	8.25	9.0	1.3	89.7
BFE	11.36	10.77	5.66	12.2	1.4	86.4
BTP	13.60	11.45	18.82	9.4	2.2	88.4
BTO	14.34	9.67	48.37	9.0	1.4	89.6
BTE	11.62	11.10	4.68	6.5	1.1	92.4

Análisis de elementos

A partir de los valores de la Tala 1 y de acuerdo con las ecs. (5)-(7), en la Tabla 2 se presentan los resultados para el carbono, el hidrogeno y el nitrógeno que se calculan presentes en el proceso de combustión para cada uno de los tipos de biomasa analizados.

Tabla 2. Composición calculada a partir de los datos de la tabla 1.

Clasificación de biomasa	Carbón	Hidrógeno	Nitrógeno
BFP	77.08	2.20	2.066
BFO	84.24	3.06	2.074
BFE	82.56	3.02	2.072
BTP	80.19	2.51	2.056
BTO	82.89	3.00	2.072
BTE	88.26	3.29	2.078

Parámetros de la combustión

De acuerdo con el procedimiento para analizar los resultados de la combustión de los tipos de biomasa considerados con referencia a 1 kg de biomasa, y con tres repeticiones de cada una de las pruebas, en la Tabla 3 se presentan los resultados de las variables cuantificadas. De los resultados que se presentan en la Tabla 3 se obtiene que el mayor incremento de temperatura corresponde al tipo de biomasa de oyamel, tanto para su forma en tiras como en fragmentos. Lo que en consecuencia se relaciona de forma proporcional para las máximas presiones obtenidas de las pruebas. Los datos obtenidos de la Tabla 3 proporcionan la información solo la

información de los parámetros de la combustión, pero sin considerar la evolución en el tiempo de estos. Para ampliar esa información, en la Figura 4 se muestra de forma representativa la evolución en el tiempo de la presión y temperatura para los diferentes tipos de biomasa para 1 kg de combustible.

Tabla 3. Resultados de análisis de los parámetros de la combustión para 1 kg de biomasa sólida de residuo forestal.

Clasificación de biomasa	No. de prueba	Ti [s]	Q [°C]	ΔQ [°C]	Ttm [min]	Pm [kPa]	Tpm [min]	V [g/min]	Tf [min]	Tc [min]	Tt [min]
BFP	1	13	75	60	30	42.05	30	16.35	29	32	61.13
	2	14	76	64	33	44.12	33	16.09	31	31	62.14
	3	13	76	61	33	42.74	30	16.63	29	31	60.13
BFO	1	15	85	70	36	65.50	39	17.49	27	30	57.15
	2	15	87	73	36	68.94	39	16.35	29	32	61.15
	3	16	86	72	39	67.56	39	16.62	28	32	60.16
BFE	1	18	71	57	39	42.74	42	16.08	32	30	62.18
	2	18	72	57	39	41.36	42	15.82	33	30	63.18
	3	18	72	57	39	42.05	42	15.82	34	29	63.18
BTP	1	27	75	64	27	44.81	27	19.13	22	29	52.27
	2	28	76	63	27	45.50	27	19.50	21	30	51.28
	3	29	75	64	30	44.81	30	19.40	21	30	51.29
BTO	1	35	86	74	36	72.39	36	16.57	27	33	60.35
	2	35	85	75	39	71.01	39	17.43	27	30	57.35
	3	40	85	74	39	71.01	36	16.83	28	31	59.40
BTE	1	50	81	70	45	66.87	45	17.69	23	33	56.50
	2	50	80	69	45	65.50	42	17.69	24	32	56.50
	3	50	80	67	45	65.50	45	17.39	24	33	57.50

Como se aprecia de la Figura 4a), la temperatura obtenida en el recipiente cerrado no es suficiente para alcanza el punto de ebullición del agua, por lo que se realizan pruebas con diferentes cantidades de biomasa que permitan observa el comportamiento para temperaturas superiores. Por lo que de manera análoga a la Tabla 3, en la Tabla 4 se presentan los resultados promediados de tres pruebas cada uno, del proceso de combustión de los diferentes tipos de biomasa sólida con diferentes cantidades de biomasa en el proceso de combustión que van de 1 kg a 2.5 kg. A partir de los datos de la Tabla 4, se puede observar en la Figura 4 las temperaturas máximas alcanzadas por cada uno de los tipos de biomasa y para cada una de las cantidades consideradas en el análisis.

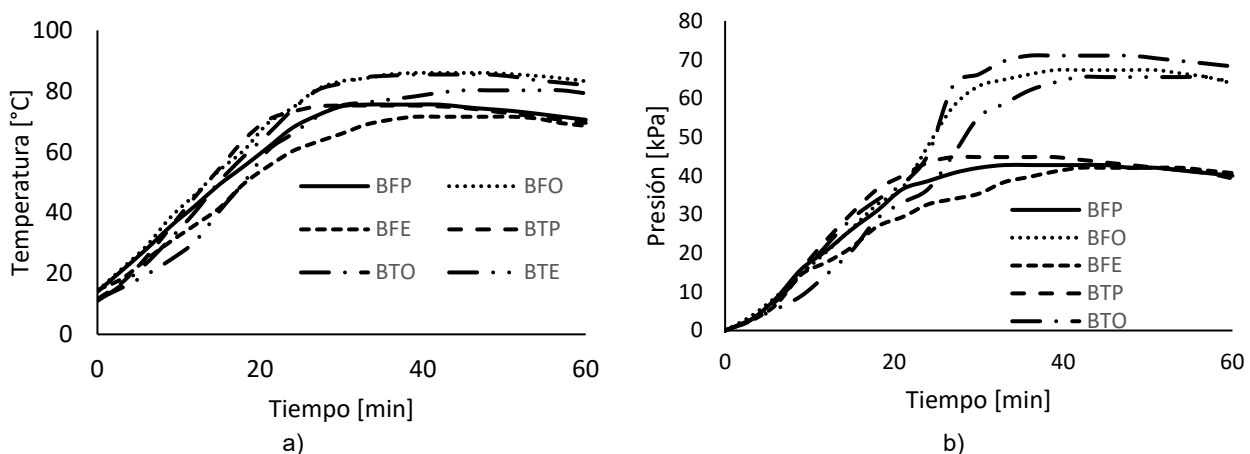


Figura 4. Evolución de la presión y temperatura para 1 kg de biomasa, donde: a) temperatura y b) presión.

Tabla 4. Resultados de análisis aproximado.

Clasificación de biomasa	Masa [kg]	Ti [s]	Q [°C]	ΔQ [°C]	Ttm [min]	Pm [kPa]	Tpm [min]	V [g/min]	Tf [min]	Tc [min]	Tt [min]
BFP	1	13.3	75.6	61.6	33	42.7	33	16.38	29.6	31	61.03
	1.5	14	104	93	42	151.7	45	22.67	42	24	66.14
	2	15	130	116	51	303.4	54	22.18	50	40	90.15
	2.5	14	145	135	57	399.9	57	28.36	58	30	88.14
BFO	1	15.3	86	71.7	39	66.9	39	16.82	28	31	59.45
	1.5	16	116	82	39	193.1	39	22.33	37	30	67.16
	2	16	132	122	51	248.2	54	21.93	46	45	91.16
	2.5	20	136	124	57	344.7	57	23.36	57	50	107.20
BFE	1	18	71.6	57	39	42.1	42	15.82	33	30	63.18
	1.5	18	100	88	42	127.6	42	21.07	38	33	71.18
	2	20	125	110	54	262.0	57	22.1	55	35	90.20
	2.5	35	146	135	63	441.3	63	23.5	61	45	106.35
BTP	1	28	75.3	63.7	30	44.8	27	19.5	21	30	51.28
	1.5	30	110	99	42	162.0	42	24.4	36	25	61.3
	2	30	138	123	51	358.5	51	21.20	49	45	94.30
	2.5	35	148	134.5	63	468.8	66	20.94	63	56	119.35
BTO	1	36.6	85.5	74.5	39	71.0	36	16.94	27.3	31	59.03
	1.5	40	99.5	88.5	51	117.2	51	15.06	33	33	66.4
	2	45	122	111	57	244.8	60	20.52	47	50	97.45
BTE	1	50	80.3	68.7	45	65.5	42	17.39	24	33	57.50
	1.5	50	100	90	51	120.7	51	19.1	33	45	78.50
	2	50	114	104	51	192.4	54	23.12	36	50	86.50
	2.5	55	130	120	57	299.9	60	24.37	48	54	102.55

La Figura 5 muestra las temperaturas máximas alcanzadas para los diferentes tipos de la biomasa usada y para las diferentes cantidades de esta, donde se aprecia que, en todos esos los casos, con cantidades de combustible de biomasa sólida mayor a 1 kg se alcanza o se supera la temperatura de ebullición del agua, para las condiciones de prueba analizada. De donde, se corrobora que los residuos forestales de los tipos de árbol analizados en el presente estudio son viables para aplicarse en la generación de vapor que sirva como fuente alternativa de energía.

De manera representativa en la Figura 6 se presenta la evolución en el tiempo de la temperatura para la biomasa de pino en configuración tanto en tiras como fragmentada, y para las diferentes cantidades analizadas. Se incluye en las curvas de la Figura 6 la curva de la cantidad de 1 kg que se presenta en la Figura 4. Lo anterior para que sirva de referencia en la comparación con respecto al resto de cantidades de biomasa usadas. Como se observa para cantidades superiores a 1 kg se obtiene temperaturas de ebullición del agua, lo que permite considerar esa biomasa como fuente de energía alternativa.

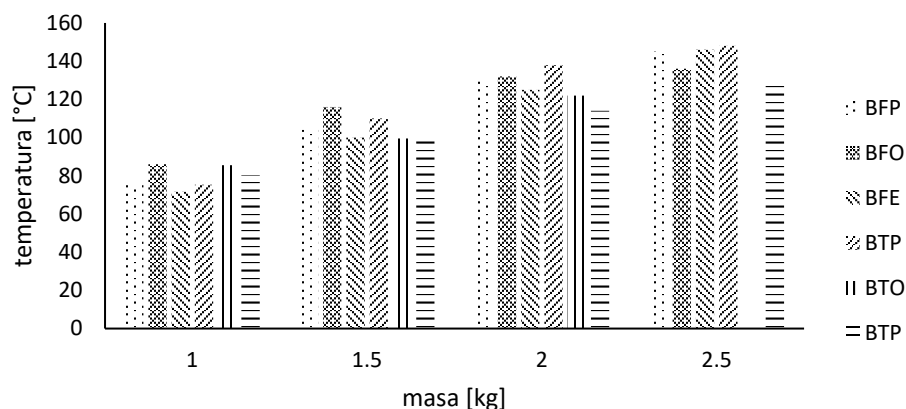


Figura 5. Temperaturas máximas alcanzadas para los diferentes tipos y cantidades de biomasa.

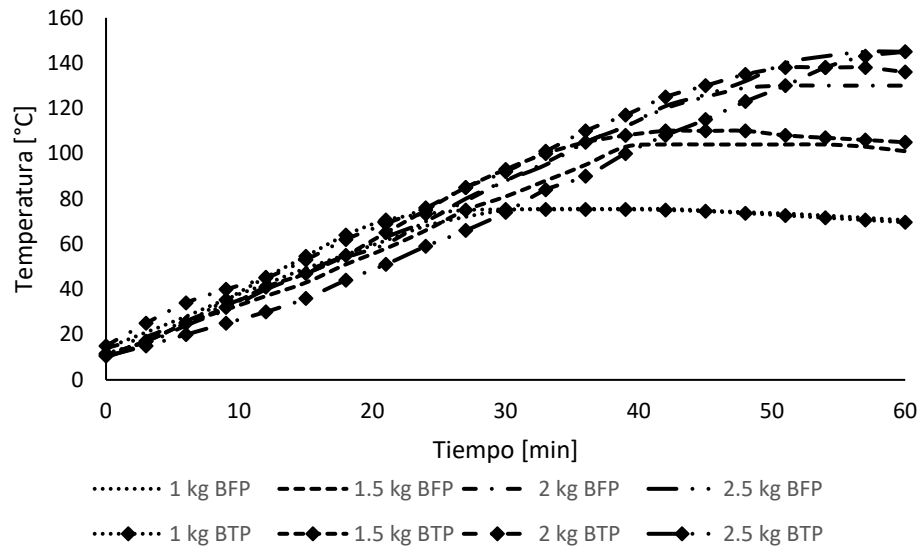


Figura 6. Evolución de la temperatura para diferentes cantidades y formas de biomasa proveniente de residuos de pino.

Por condiciones prácticas de espacio, no se incluyen los resultados de las curvas que corresponde a los tipos de árbol de encino y oyamel. Sin embargo, el comportamiento de esas curvas es análogo al presentado por el pino (Figura 6), donde además los valores máximos para esos tipos de árboles pueden revisarse en los datos de la Tabla 4, para estas pruebas. A partir de los resultados de la Tabla 4 se corrobora que los residuos forestales de pino, oyamel y encino que se ubican en una de las regiones boscosas del estado de Puebla son viables para considerarse en dentro de las fuentes potenciales alternativas como fuente de energía renovable. Además, dado que el volumen de residuos que se producen por la actividad forestal propia de la región es considerable, entonces estos residuos se proyectan para constituirse como una fuente alternativa de energía.

Trabajo a futuro

La verificación del potencial de residuos forestal como fuente alternativa de energía, junto con el interés actual de voltear hacia ese tipo de fuentes de biomasa para darles un valor agregado, y el enfoque de [9] que permite establecer plantas de generación a partir de residuos disponible, hacen necesario el avanzar en investigaciones de configuración de sistemas completos para la generación eléctrica. En ese sentido se plantean como trabajos futuros la investigación en el tipo de expansores que sean capaces de acoplarse a sistemas de bajo grado de calor, para las variantes de combustibles como los analizados en el presente estudio, para complementar los sistemas de generación.

Conclusiones

Se realizó el análisis del potencial de aplicación de residuos forestales de árbol de pino, oyamel y encino como fuentes alternativas de energía. Se revisó la disponibilidad y porcentajes de aprovechamiento de recurso maderables, enfocados en una de las regiones boscosas del estado de Puebla. Se realizó el análisis para el aprovechamiento de residuos forestales de configuraciones en tiras y fragmentada, que son casos típicos de residuos forestales. A partir de la implementación de un sistema de pruebas experimentales se cuantificó las características del uso de los residuos forestales como fuente de energía alterna. Obteniendo como conclusión que los residuos analizados pueden usarse en la generación de vapor que forme parte de un sistema de generación. Con lo que se corrobora el potencial de aplicación de esa biomasa forestal como parte de los combustibles alternativos en los procesos de producción de energía eléctrica.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el apoyo otorgado para el desarrollo del presente trabajo dentro del proyecto clave 13250.21-P.

Referencias

- [1] A. Favero, A. Daigneault, B. Sohngen, "Forests: Carbon sequestration, biomass energy, or both?", *Science Advances* 2020, vol 6, eaay6792, pp. 1-13, 2020.
- [2] R. Spinelli, R. Visser, R. Björheden, D. Röser, "Recovering Energy Biomass in Conventional Forest Operations: a Review of Integrated Harvesting Systems", *Curr Forestry Rep* 5, 90–100 (2019). <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00089-0>
- [3] United States Environmental Protection Agency (USEPA), EPA's Treatment of Biogenic Carbon Dioxide (CO₂) Emissions from Stationary Sources that Use Forest Biomass for Energy Production (2018); https://epa.gov/sites/production/files/2018-04/documents/biomass_policy_statement_2018_04_23.pdf.
- [4] Z. Wang, Q. Bui, B. Zhang, "The relationship between biomass energy consumption and human development: Empirical evidence from BRICS countries", *Energy*, vol 194 (2020), 116906-10, 2020.
- [5] M. Acuna, J. Sessions, R. Zamora, K. Boston, M. Brown, M.R. Ghaffariyan, "Methods to Manage and Optimize Forest Biomass Supply Chains: a Review". *Current Forestry Reports*. doi:10.1007/s40725-019-00093-4, 2019.
- [6] J. A. Honorato-Salazar, J. Sadhukhan, "Annual biomass variation of agriculture crops and forestry residues, and seasonality of crop residues for energy production in Mexico", *Food and Bioproducts Processing*, Vol. 119, pp. 1-19. January 2020.
- [7] E.J. Ordoñez-Frías, J.A. Azamar-Barrios, E. Mata-Zayas, O. Silván-Hernández, L. Pampillón-González, "Bioenergy potential and technical feasibility assessment of residues from oil palm processing: A case study of Jalapa, Tabasco, Mexico", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 142, 105668-12, November 2020.
- [8] N. Ayala-Mendivil, G. Sandoval, "Residuos forestales y de madera", *Madera y Bosques*, vol. 24 (Núm. esp.), e2401877. doi: 10.21829/myb.2018.2401877, 2018.
- [9] H. Nandimandalam, V. G. Gude, M. Marufuzzaman, "Environmental impact assessment of biomass supported electricity generation for sustainable rural energy systems - A case study of Grenada County, Mississippi, USA", *Science of the Total Environment*, vol. 802, 149716-12, 2022, doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149716.
- [10] C.A. García, O. Maser, "ESTADO DEL ARTE DE LA BIOENERGÍA EN MÉXICO", Imagia Comunicación S. de RL. de CV. ISBN: 978-607-8389-11-7.
- [11] CONAFOR, "ESTUDIO DE CUENCA DE ABASTO FORESTAL REGIÓN TEZIUTLÁN, PUEBLA, MEXICO", 2015, recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/254070/Estudio_de_cuenca_de_abasto_-_Teziutlan_Puebla.pdf.
- [12] COWI (Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático), "Catálogo de Tecnología de biomasa a Energía", recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/434197/Cat_logo_de_Biomasa_-_Espa_ol_Modelo_05.pdf.

Análisis experimental de una estufa solar portable

Vicente Flores, Marcos Bedolla, Jorge Bedolla, J. Michael Cruz, J. Carlos Castañeda

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Apizaco
Conurbado Apizaco-Tzompantepec, esquina con Av. Instituto Tecnológico S/N, Tlaxcala México.

Área de participación: Mecánica

Resumen

La estufa solar es un dispositivo que permite cocer los alimentos utilizando la energía del sol. En este trabajo presentan resultados del desempeño de una estufa solar portátil del tipo concentración, se construyó una estufa solar a partir de la recuperación de dos antenas elípticas de transmisión de televisión y materiales adicionales reutilizables. La capacidad de cocción es de un volumen de 5 litros de alimentos. El diseño fue considerando brindar la energía para cocinar todo tipo de alimento a través de procesos de freír, asado y ebullición, lo cual se corroboró mediante la cocción de alimentos de diferente consistencia. Se evaluó su desempeño de forma experimental obteniendo su potencia y eficiencia térmica, siendo la primera del orden de 250 W y la segunda del 45% respectivamente.

Palabras clave: estufa, solar, cocción alimentos

Abstract

The solar cooker is a device that allows you to cook food using the energy of the sun. In this work they present results of the performance of a portable solar cooker of the concentration type, a solar cooker was built from the recovery of two elliptical television transmission antennas and additional reusable materials. The cooking capacity is a volume of 5 liters of food. The design was considering providing the energy to cook all kinds of food through frying, roasting and boiling processes, which was corroborated by cooking foods of different consistency. Its performance was evaluated experimentally, obtaining its power and thermal efficiency, the first being around 250 W and the second 45%, respectively.

Key words: cooker, solar, cooking, food

Introducción

La deforestación y la emisión de gases de efecto invernadero ha sido una consecuencia por el uso de combustible de biomasa como fuente de energía en los procesos de cocción de alimentos, lo anterior aunado a los problemas respiratorios para las personas que interactúan con los procesos de cocción. De acuerdo con los datos de la Organización Mundial de la Salud, la cocina tradicional (con leña o carbón) ha provocado un gran número de muertes relacionadas con la contaminación del aire en los hogares, puesto que las partículas que emiten estos combustibles contienen contaminantes carcinógenos, los cuales, provocan enfermedades cardíacas y pulmonares [1]. Es por ello, que es necesario desarrollar mecanismos sustentables, que no dañen el medio ambiente y la salud de aquellas personas que aún no cuentan con los servicios indispensables en sus hogares. El uso de las tecnologías solares para la cocción de los alimentos es considerada amigable con el ambiente y brinda grandes beneficios energéticos y económicos [2]. En este sentido existen dos tecnologías solares para tal fin, a saber, estufas solares de acumulación de calor y estufas solares de concentración, ambas, ampliamente estudiadas [2-4]. Esta última, por sus características de construcción permite lograr mayores potencias de cocción [3]. En [3], evalúan de forma experimental una estufa tipo caja con multireflectores, con la posibilidad de corregir su orientación, azimutal y cenital, los reflectores influyen significativamente en cuanto al desempeño de la estufa, visto desde su potencia de cocción y del tiempo para llevar al punto de ebullición a las sustancias, en intervalos de tiempo cortos. En el caso de [4] los autores presentan una revisión de las diferentes tecnologías de cocinas solares, enfocándose en las geometrías de estufas tipo caja que mejoran el desempeño, al mismo tiempo la

importancia de reflectores y de cubiertas transparentes mejoran significativamente su desempeño. Una revisión de las innovaciones a estufas de concentración se presenta en [5] proponen estufas de concentración solar para aplicaciones en instituciones, así como los programas que permitan la promoción de esta tecnología. Para su aplicación a grandes escalas analizan la tecnología de concentración de plato parabólico, Scheffler y Arun, para la generación de energía de cocción de forma directa e indirecta. El uso de tecnologías de respaldo en la cocción solar también ha sido una opción muy estudiada, respaldo energético basado en gas o eléctrico, así como, energía térmica mediante vapor o aire caliente [6-8]. En [9] estudian la ventaja de la cocción solar mediante sistemas híbridos, lámparas de alógeno colocadas dentro de ductos son el respaldo energético, además su posición estratégica mejora la transferencia de calor entre los elementos de la estufa y los alimentos. Con base en el estado de la técnica revisado se encuentra la posibilidad de desarrollar tecnología solar técnicamente de fácil reproducción para la cocción de alimentos, por lo que, en este trabajo a partir de la construcción de una estufa solar de concentración portable, se hacen ensayos como primera etapa para evaluar su potencia y eficiencia térmica con base en resultados experimentales.

Marco teórico

Los parámetros para evaluar el desempeño de una estufa solar se encuentran en función de la cantidad de energía solar captada a través del área de apertura del sistema de concentración y de la energía representada por el cambio de temperatura, de una masa de sustancia estable durante el tiempo de calentamiento [10,11]

$$P = (m_p c_p + m_w c_w) \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (1)$$

Donde:

P: potencia de cocción (kW)

m_p: masa del recipiente (kg)

m_w: masa del agua (kg)

ΔT: aumento de temperatura en el agua (°C)

Δt : intervalo de tiempo (s)

Una ecuación para evaluar la potencia de cocción de estufas solares internacionalmente estandarizada fue propuesta por Funk [11], empleada a partir de datos experimentales

$$P = \frac{(MC)_w \Delta T_w}{\Delta t} \quad (2)$$

También propuesta por Funk para la evaluación potencia de cocción, es como sigue:

$$P_s = \frac{700(MC)_w \Delta T}{600 \bar{I} G} \quad (3)$$

Ecuación que de acuerdo con reportes de diferentes autores [6,11,12] representa con bastante aproximación el desempeño real de las estufas solares, considerando como referencia la intensidad de radiación solar de 700 W/m²

Donde:

(MC)_w: es el producto de la masa y calor específico del agua

ΔT_w : diferencia de temperatura del agua

Δt : intervalo de tiempo

La eficiencia térmica [11] se evalúa a partir de los datos obtenidos por ensayos experimentales, tomando las propiedades termofísicas del agua como referencia.

$$\eta = \frac{E_o}{E_i} = \frac{(mc)_w (T_{wf} - T_{wi})}{G \Delta t A_{sc}} \quad (4)$$

Donde:

E_o = incremento de energía del agua debido al aumento de temperatura

E_i = energía solar que recibe la estufa solar

m : masa del agua

c : calor específico del agua

T_{wi} , T_{wo} : temperatura inicial y final del agua en el intervalo de tiempo Δt

A_{sc} : área de intersección de radiación solar de la estufa

Metodología

Estufa Solar

La estufa solar está construida en un 90% con materiales reciclables y se compone de tres elementos, concentrador solar, receptor y estructura de soporte. El sistema de concentración se compone por 2 antenas elípticas de transmisión de señal de televisión reciclables cubiertos en su superficie frontal con película reflejante, admite los rayos solares en un área de captación de 0.56 m^2 , el receptor corresponde al recipiente que contiene el producto a cocinar y este puede ser cualquier recipiente metálico de uso en cocina. Con respecto a las dimensiones del concentrador, el volumen del receptor es de 5 litros, la estructura soporte se refiere a la que mantiene al receptor en la región focal de los concentradores y que soporta a los concentradores en una posición fija, además, su base fue construida con las dimensiones y el propósito de poder alojar las partes que componen la estufa, Figura 1.

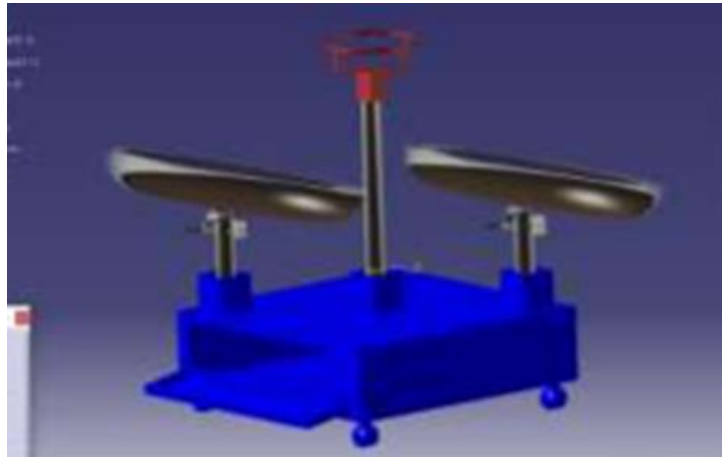


Figura 1.- Estufa solar de concentración

Sistema experimental

La estufa solar fue el dispositivo experimental, Figura 2, con ella se realizaron ensayos experimentales para determinar la potencia de cocción y la eficiencia térmica. De acuerdo con protocolos internacionales ya estandarizados de pruebas a estufas solares [11], se recomienda el uso del agua como una sustancia estable, ésta se sometió a calentamiento en diferentes intervalos de tiempo y se registró el gradiente térmico provocado. Un ensayo más a la estufa fue a través de la cocción de diferentes alimentos, pruebas que se realizaron alrededor del mediodía en todos los casos, con niveles de radiación solar entre 800 W/m^2 y 930 W/m^2 , velocidades del viento, entre 0.8 m/s y 1.5 m/s y temperatura ambiente promedio de 23.5°C , datos de las variables climáticas que corresponden a los meses de septiembre a octubre, en el sitio con coordenadas de Latitud $19^\circ 32'$ Norte, Longitud $98^\circ 24'$ Oeste y Altitud de 2232 msnm .



Figura 2.- Estufa solar durante pruebas experimentales

Resultados y discusión

En esta sección se presentan resultados de las primeras pruebas experimentales realizadas a la estufa con el propósito de evaluar su desempeño, así como, los primeros ensayos de cocción de alimentos.

Se monitoreo valores climáticos del sitio de pruebas empleando una estación meteorológica Davis Instruments, corroborando los datos con la estación meteorológica Tlaxcala del Servicio Meteorológico Nacional [13]. La Figura 3 muestra el comportamiento de la intensidad de la radiación solar y la temperatura ambiente correspondiente al sitio de pruebas. Para las horas de ensayo de la estufa solar que correspondieron entre las 12 horas y las 14 horas la radiación solar tuvo un valor promedio de 800 W/m^2 y la temperatura ambiente de 20°C

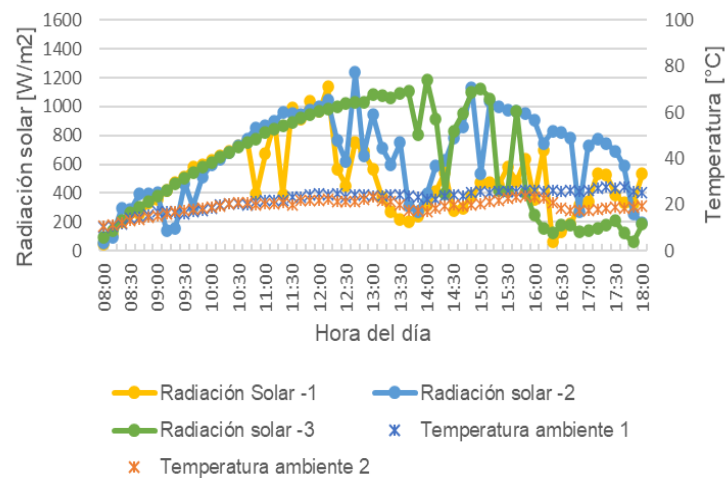


Figura 3.- Comportamiento de variables climáticas, temperatura ambiente y radiación solar

A partir de la información que muestra la gráfica anterior, se evalúa el desempeño de la estufa solar mediante su potencia de cocción y eficiencia térmica. En el caso de la potencia de cocción, de acuerdo al protocolo propuesto por Funk, se toma la radiación solar promedio de 800 W/m^2 y el tiempo de exposición a la energía es el que cambia, la temperatura del agua inicial se toma la temperatura ambiente.

La tabla 1 registra los resultados de las pruebas realizadas y la obtención de la potencia de la estufa. En la gráfica de la Figura 4, se muestra el comportamiento de la potencia con respecto a la diferencia de temperaturas del

agua al exponer la estufa a la radiación solar. En la misma figura se observa el comportamiento de la eficiencia térmica, que al igual que la potencia su comportamiento es descendente, lo anterior debido a que el incremento de la temperatura del agua en la estufa no es proporcional al aumento del tiempo. En la Figura 5, se observa gráficamente lo anterior, el incremento de la temperatura del agua en la estufa es menor conforme aumenta el tiempo de exposición.

Tabla 1. Resultados de pruebas de la estufa solar para determinar su desempeño térmico, para 1 litro (1 kg) de agua.

Tiempo [s]	Temperatura del agua [°C]	Temperatura ambiente [°C]	Potencia de cocción [W]
300	30	20	142.18
600	57	21	255.92
900	75	20	260.66
1200	81	20	216.82
1500	84	19	184.83

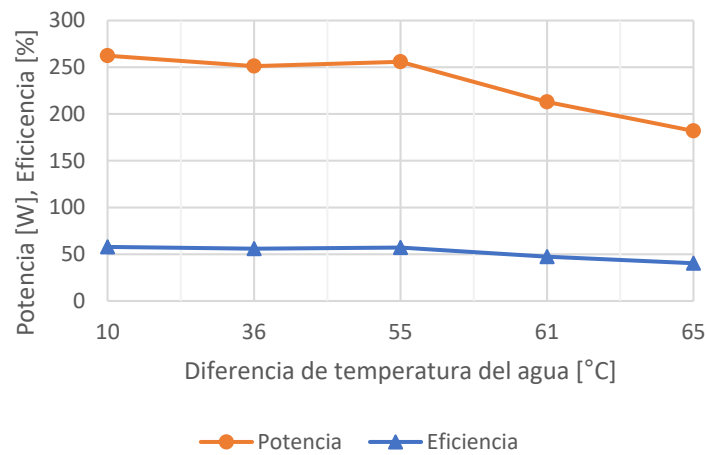


Figura 4.- Comportamiento de la potencia de cocción y eficiencia térmica de la estufa

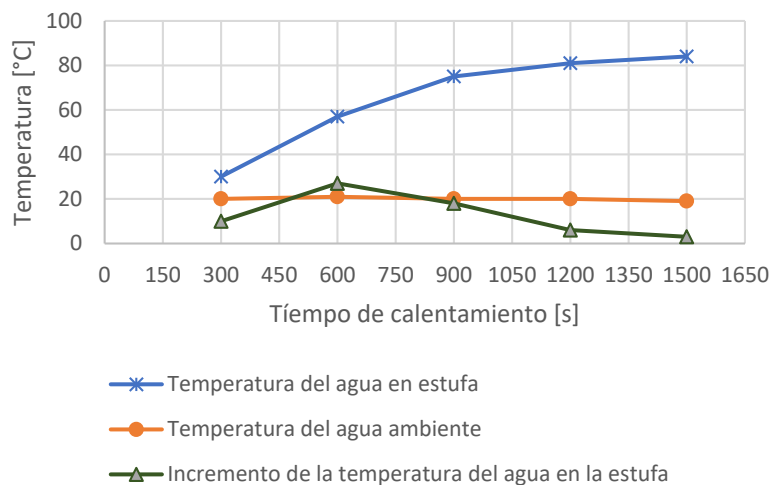


Figura 5.- Comportamiento térmico de la estufa

En la tabla 2, se muestra los resultados de la cocción de diferentes alimentos, las pruebas se hicieron sin tapar el recipiente, en el caso de la cocción de los huevos fue a través del proceso de freír, mientras que la pechuga de pollo y el nopal mediante el proceso de asado.

Tabla 2.- Cocción de alimentos en la estufa solar

Alimento	Cantidad	Tiempo de cocción	Hora del día
Huevos	0.05 kg	180 s	12:00
Huevos	0.15 kg	540 s	12:30
Pechuga de pollo	0.035 kg	300 s	13:00
Nopal	0.028 kg	420 s	13:30

Trabajo a futuro

Se llevarán a cabo pruebas experimentales con mayores cantidades de producto a cocinar, además se buscará adaptar una superficie reflejante metálica con mayor reflectancia, que permita mantener la superficie elíptica con el propósito de lograr mayores potencias de cocción. Se ensayará la estufa con alimentos más elaborados que incluyan diferentes ingredientes, a modo de comparación con las estufas a base de gas Lp, eléctricas y de leña.

Conclusiones

Se construyó y experimentó una estufa solar portable con capacidad de 5 litros, para la cocción de alimentos, cumpliendo las siguientes características:

1. La base de la estufa se construyó tipo gabinete para alojar los elementos que la constituyen, buscando ser protegida y transportada con facilidad.
2. La mayor atención fue en la adhesión de la película reflejante a la superficie de los concentradores elípticos, ya que se buscó tener una superficie lisa, para evitar el desvío de los rayos solares reflejados en el receptor.

Para los niveles de radiación solar correspondiente al sitio de pruebas (800 W/m^2) la potencia de cocción promedio es de 212.5 W y la eficiencia térmica del 50%.

Con base en resultados de las pruebas realizadas pueden disponerse de una tecnología para cumplir las necesidades de cocción de alimentos tanto energéticas, como de procesos empleados para cocinar, ya que se demostró que, puede llevarse al alimento al estado físico de ebullición, asado y freír.

El tiempo de cocción de los alimentos depende de la consistencia de los alimentos, cantidad del alimento y del nivel de radiación solar, como se mostró en los resultados.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado al proyecto, Sistemas alternativos para suministro de energía primaria en hogares rurales, con clave:14696.22-P

Referencias

- [1] <https://www.insp.mx/avisos/3786-reducir-danos-cocinar-solidos.html>
- [2] Joan Manuel F. Mendoza, Alejandro Gallego-Schmid Ximena C. Schmidt Rivera, Joan Rieradevall Adisa Azapagic. Sustainability assessment of home-made solar cookers for use in developed countries, Science of The Total Environment, Volume 648, 15 January 2019, Pages 184-196.

- [3] Gianluca Coccia, Giovanni Di Nicola, Mariano Pierantozzi, Sebastiano Tomassetti, Alessia Aquilanti. Design, manufacturing, and test of a high concentration ratio solar box cooker with multiple reflectors. *Solar Energy* Volume 155, October 2017, Pages 781-792
- [4] Rahul Khatri, Rahul Goyal, Ravi Kumar Sharma. Advances in the developments of solar cooker for sustainable development: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 145, July 2021
- [5] Sunil Indora, Tara C. Kandpal. Institutional and community solar cooking in India using SK-23 and Scheffler solar cookers: A financial appraisal, *Renewable Energy*, Volume 120, May 2018, Pages 501-511
- [6] F. Yettou, B. Azoui, A. Malek, A. Gama, N.L. Panwar. Solar cooker realizations in actual use: An overview *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 37, September 2014, Pages 288-306
- [7] Tiffany J. Hager, Ruben Morawicki, Energy consumption during cooking in the residential sector of developed nations: A review, *Food Policy*, Volume 40, June 2013, Pages 54-63
- [8] Antonio Lecuona José-Ignacio Nogueira, RubénVentas, María-del-Carmen Rodríguez-Hidalgo Mathieu Legrand Solar cooker of the portable parabolic type incorporating heat storage based on PCM, *Applied Energy*, Volume 111, November 2013, Pages 1136-1146
- [9] Abhishek Saxena, Nitin Agarwal. Performance characteristics of a new hybrid solar cooker with air duct, *Solar Energy*, Volume 159, 1 January 2018, Pages 628-637
- [10] Ozturk HH. Comparison of energy and exergy efficiency for solar box and parabolic cookers. *J Energy Eng* 2007;133:53–62.
- [11] Paul A. Funk, Evaluating the international standard procedure for testing solar cookers and reporting performance, *Solar Energy*, Volume 68, Issue 1, January 2000, Pages 1-7.
- [12] John A. Duffie, William A. Beckman. *Solar Engineering of Thermal Processes*, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison. 2013 by John Wiley & Sons, Inc.
- [13] Servicio Meteorológico Nacional, <https://smn.conagua.gob.mx>

Efecto de la geometría de los deflectores en el consumo de potencia de tanques agitados

Angel Mendez Lopez¹, Helvio Ricardo Mollinedo Ponce de León², Sergio Alejandro Martínez Delgadillo³.

¹Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco al2152001700@azc.uam.mx, ² Instituto Politécnico Nacional. UPIITA helviomollinedo@yahoo.com, ³Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco samd@azc.uam.mx

Área de participación: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio numérico de la influencia de la disposición geométrica de los deflectores verticales planos en un sistema de agitación de tanque cilíndrico con un impulsor de alabes inclinados. Los resultados numéricos de los modelos presentados se han validado a partir de pruebas experimentales realizadas en trabajos previos publicados. Se ha realizado un estudio comparativo de la posición de los deflectores: pegados a la pared del tanque y con una separación de 5 y 10 mm de la pared del tanque. Las simulaciones numéricas se han realizado con un software de dinámica computacional de fluidos utilizando un modelo de Marcos de Referencia Múltiples (MRF por sus siglas en inglés).

Palabras clave: *Tanques agitados, arreglo de la geometría de deflectores, dinámica computacional de fluidos*

Abstract

In this work, a numerical study of the influence of the geometric arrangement of the flat vertical baffles in a cylindrical tank agitation system with an impeller with inclined blades is presented. The numerical results of the presented models have been validated from experimental tests carried out in previous published works. A comparative study of the position of the baffles has been carried out: glued to the tank wall and with a separation of 5 and 10 mm from the tank wall. Numerical simulations have been performed with computational fluid dynamics software using a Multiple Reference Frame (MRF) scheme to analyze the impact of modifying the baffle arrange, obtaining an improve of pumping efficiency of 7.52% with the 5 mm gap and 13.86% with the 10 mm gap.

Key words: *Stirred tanks, baffle geometry, computational fluid dynamics*

Introducción

Las operaciones de agitación y mezclado en tanques cilíndricos utilizando impulsores es un campo ampliamente estudiado. Las características hidrodinámicas y el desempeño del sistema de agitación y mezclado es una función de múltiples variables involucradas en el proceso: la geometría del tanque, el tipo de impulsor y las características del fluido [1], [2]. Los deflectores son elementos estacionarios colocados en las paredes del tanque que tienen la función de minimizar la formación del vórtice en el centro del tanque debido a la rotación del impulsor. Usualmente se colocan cuatro deflectores verticales en forma simétrica y tienen un ancho igual a 1/10 del diámetro del tanque. En algunos casos el deflector va pegado a la pared del tanque y algunas veces se deja una holgura entre el deflector y la pared del tanque [1]. Algunos trabajos previos han explorado la influencia de la geometría y disposición de los deflectores en el proceso de agitación y mezclado [3]. Uno de los sistemas de agitación ampliamente estudiado es el tanque cilíndrico con impulsado por la turbina de alabes inclinados (PBT por sus siglas en inglés), en este sistema se utiliza por lo general cuatro deflectores verticales planos. El comportamiento hidrodinámico de un sistema de agitación se puede

evaluar a través de algunos parámetros ampliamente conocidos como: el Número de Potencia N_p que es un parámetro adimensional que relaciona el consumo de energía del sistema en función del número de Reynolds (Re), la geometría del tanque y del impulsor; El número de bombeo N_Q que representa el tasa volumen de fluido que atraviesa el área circular generada por impulsor y que es una medida de la efectividad del impulsor para medir el flujo de circulación; así también el tiempo de mezclado el cual se mide mediante la inyección de un volumen de trazador en el sistema mientras se registra el tiempo que se tarda en alcanzar una uniformidad de 95% en la concentración.

Metodología

Se utilizó un tanque cilíndrico de fondo plano con cuatro deflectores y un impulsor de alabes inclinados (PBT) como se muestra en la figura 1

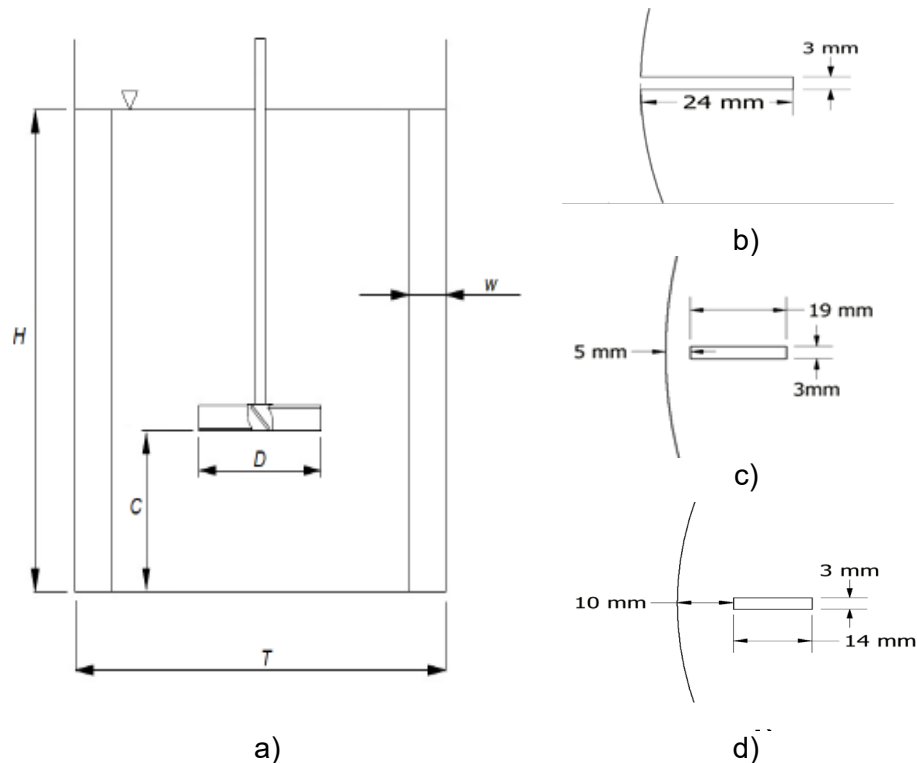


Figura 1 a) tanque agitado plano con impulsor PBT donde $H=T=240$ mm, $C=80$ mm, $D=80$ mm y $W=24$ mm, b) deflector pegado a la pared, c) deflector separado 5 mm de la pared y d) deflector separado 10 mm de la pared.

Las características del impulsor empleado en este trabajose muestran en la tabla 1

Tabla 1 Dimensiones del impulsor tipo PBT.

dimensión	mm
Diámetro (D)	78.8
Diámetro centro	15.9
Altura centro	13.0
Espesor de la cuchilla (t)	1.5
Ancho de la cuchilla	15.9

Análisis de independencia de malla

Se realizó un análisis de independencia de malla considerando el caso con separación de 5mm, para ello se generaron 3 mallas, duplicando el numero de elementos de la malla anterior, poniendo especial atención en que la oblicuidad máxima se encontrara por debajo de 0.75, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 características de las mallas para el análisis.

Parámetro	Gruesa	Media	Fina
Elementos	454898	900833	1823250
Oblicuidad máxima	0,7249	0,6483	0,6478

Se calculó el orden de convergencia (m) mediante la ecuación (1)

$$m = \ln \left(\frac{f_3 - f_2}{f_2 - f_1} \right) \frac{1}{\ln r} \quad (1)$$

Donde f_i es el parámetro obtenido con la i -ésima malla y r es la relación de refinamiento.

El índice de convergencia de malla (GCI_{ij}) [5] se obtiene mediante la ecuación (2)

$$GCI_{ij} = \frac{Fs}{r^m - 1} \left| \frac{f_i - f_j}{f_i} \right| \quad (2)$$

El rango asintótico de convergencia ($asyR$) se calcula mediante la ecuación (3)

$$asyR = \frac{GCI_{23}}{r^m GCI_{12}} \quad (3)$$

Se realizó el cálculo del rango asintótico de convergencia para los parámetros momento y caudal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3 parámetros para el estudio de independencia de malla

Parámetro	r	m	GCI_{12}	GCI_{23}	$asyR$
m	2	0.36345	0.13227631	0.1754939	1.031265
Q	2	2.663438	0.00029244	0.0018550	1.001249

Dado que el valor del rango asintótico de convergencia para ambos parámetros es aproximadamente uno, es posible concluir que la malla media tiene suficiente resolución para la determinación de los campos de flujo y demás cálculos posteriores.

A partir de los resultados de la tabla 2, las mallas para todos los casos simulados tienen 900,000 celdas, en las cuales también se ha verificado que la oblicuidad máxima esté por debajo de 0.84 y un promedio de 0.25 aproximadamente para garantizar una buena calidad de los elementos.

Resultados y discusión

Tiempo de mezclado

$$c^*(t) = \frac{w_t(t)}{w_t(t_\infty)} \quad (4)$$

Donde $c^*(t)$ es la concentración adimensional para el tiempo t , $w_t(t)$ es la fracción másica del trazador al tiempo t , y $w_t(t_\infty)$ es la fracción másica del trazador para el tiempo final de la simulación.

$$c^*(t) = \frac{c(t) - c(t_0)}{c(t_\infty) - c(t_0)} \quad (5)$$

Donde $c(t)$ es la concentración del trazador a diferentes tiempos (mg/L); $c(t_0)$ es la concentración del trazador al tiempo cero (mg/L) y $c(t_\infty)$ es la concentración del trazador a tiempo en que se estabiliza la concentración final de la prueba (mg/L).

$$U = 1 - \frac{\sigma_{c^*(t)}}{c^*(t)} \quad (6)$$

Donde $\sigma_{c^*(t)}$ es desviación estándar de la concentración del trazador normalizada y $\bar{c}^*(t)$ es el promedio de la concentración normalizada.

Tabla 4 Tiempo de mezclado (θ_{95}) con uniformidad del 95%

Caso	$\theta_{95}(s)$
Pegados	8.69
5 mm	8.99
10 mm	18.25

En la figura 2 se aprecia la concentración del trazador para diferentes tiempos en los 3 casos, se puede apreciar que en el caso con 5 mm de separación existe una mejor distribución del trazador conforme avanza el tiempo, lo contrario sucede en el caso con 10 mm de separación, que es el que mayor tiempo de mezclado tiene.

Consumo de potencia y números de bombeo

La potencia (P_A) en [W] está dada por la ecuación

$$P_A = 2\pi NM \quad (7)$$

Donde N = las revoluciones por segundo del impulsor (rps); M = Torque (N m)

El número de potencia (N_p) está dado por la ecuación 8

$$N_p = \frac{P_A}{\rho N^3 D^5} \quad (8)$$

Donde P_A es la potencia en la flecha (W); N = las revoluciones por segundo del impulsor (rps); ρ = la densidad ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) y D es el diámetro de impulsor (m).

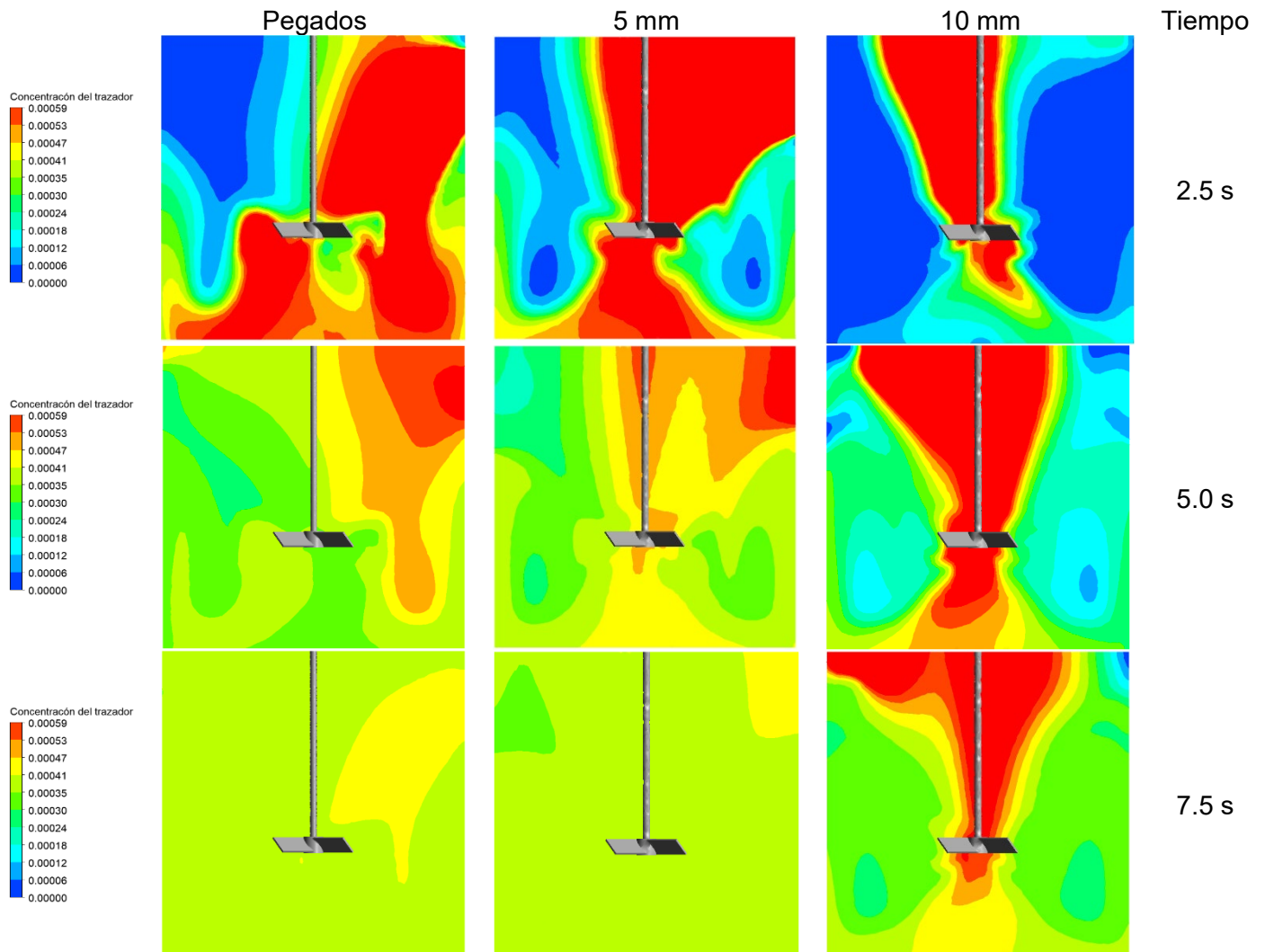


Figura 2 Concentración del trazador para diferentes tiempos.

El número de bombeo (N_Q) está dado por la ecuación (9)

$$N_Q = \frac{Q}{ND^3} \quad (9)$$

Dónde Q es el flujo volumétrico que pasa a través del impulsor ($m^3 s^{-1}$).

La eficiencia de bombeo se evaluó mediante la ecuación 10 [5].

$$\eta_Q = \frac{N_Q}{N_P} \times 100 \quad (10)$$

Como se aprecia en la tabla 5, al separar 5 mm los deflectores de la pared del tanque se obtiene un aumento en la eficiencia de 7.55%, para el caso de la separación de 10 mm se tiene un aumento de 13.86%, esto es debido a que se reduce el momento en el impulsor y al aumento en el caudal entregado por el mismo.

El número adimensional de circulación axial ($N_{Q_{ax}}(z)$) se calculó mediante la ecuación (11)

$$N_{Q_{ax}}(z) = \frac{Q_{ax}(z)}{ND^3} \quad (11)$$

Donde $Q_{ax}(z)$ es el caudal axial (m^3s^{-1}) medido a diferentes alturas del liquido

Obteniendo la tabla 5 que contiene los números de circulación axial

Tabla 5. Resultados de Potencia (N_p), bombeo (N_Q) y eficiencia de bombeo (η_Q).

Parámetros	Pegados	Separación 5mm	Separación 10mm
N_p	1.22	1.19(↓2.4%)	1.05(↓13.6%)
N_Q	0.74	0.81(↑9.7%)	0.78(↑6.1%)
η_Q [%]	60.50	68.05(↑7.5%)	74.36(↑3.8%)
θ_{95} (s)	8.69	8.99(↑3.4%)	18.25(↑110%)

Al graficar los datos contenidos en la tabla 6 obtenemos lo siguiente

Tabla 6 Números de circulación axial a diferentes alturas del fluido.

y	Pegados	5 mm	10 mm
0	0	0	0
0.1	1.1513	1.2809	1.2085
0.2	1.4112	1.6002	1.5213
0.3	1.3510	1.6445	1.5728
0.4	1.1297	1.4616	1.4096
0.5	0.9248	1.0786	1.0750
0.6	0.8137	0.7447	0.7728
0.7	0.7280	0.5215	0.5161
0.8	0.6453	0.4039	0.2759
0.9	0.4625	0.3195	0.1144
1.0	0	0	0

Como se aprecia en la figura 3, al separar los deflectores de la pared del tanque se obtiene un aumento en la circulación en la parte media inferior, sin embargo, sucede lo contrario en la parte superior, esta condición puede explicar el aumento en la eficiencia de bombeo y también el aumento en el tiempo de mezclado que se muestra en la tabla 4.

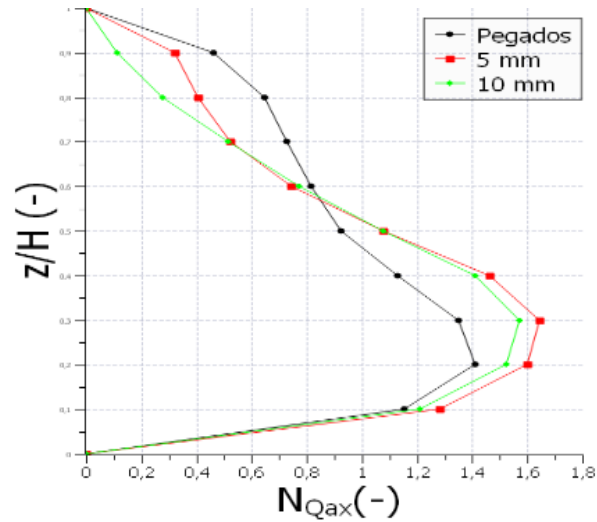


Figura 3 Números de circulación axial.

Campos vectoriales de magnitud de velocidad

Los campos vectoriales de magnitud de velocidad se pueden apreciar en la figura 4, en esta se puede apreciar que al separar los deflectores de la pared se obtiene un aumento en la magnitud de velocidad en las paredes del tanque tanto en el plano vertical como en el horizontal.

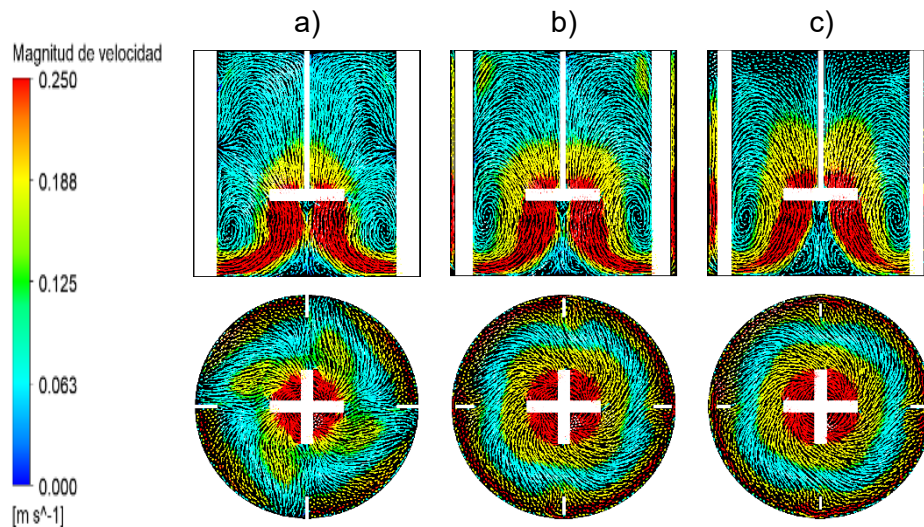


Figura 4 Campo de vectorial de magnitud de velocidad: a (pegados), b (5 mm) y c (10 mm) en un plano XY, Z=0 m, izquierda y un plano XZ, Y= 0.087 m, a la derecha

Energía cinética turbulenta

Como se aprecia en la figura 5, al separar los deflectores de la pared del tanque se logra un aumento de la energía cinética turbulenta en las paredes del tanque y en las regiones cercanas a los deflectores.

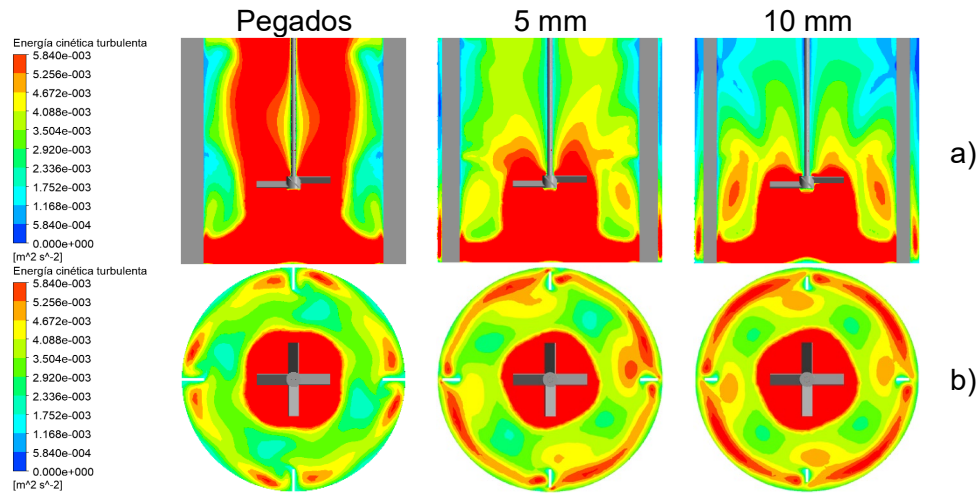


Figura 5 Energía cinética turbulenta en a) plano XY, Z=0 m, b) plano XZ, Y= 0.0528 m

Trabajo a futuro

Se planea construir un tanque agitado de fondo plano al cual se le puedan instalar diferentes tipos de deflectores, así como también variar la distancia de los deflectores a la pared, esto con el fin de validar mediante experimentación PIV los resultados obtenidos mediante la simulación numérica.

Conclusiones

Se obtuvieron resultados favorables al separar 5 mm los deflectores de la pared se obtuvo una reducción considerable del momento en el impulsor, con la consiguiente disminución de los números de potencia, también se logró un aumento en el caudal axial entregado por el impulsor y un aumento en el número de circulación axial de la parte media inferior del tanque. Al separar 10 mm los deflectores se obtuvo un aumento considerable en la eficiencia, sin embargo, esto es a costa de aumentar el tiempo de mezclado.

Referencias

- [1] Harnby N., Edwards M. F., N.A.W., 1985. *Mixing in the Process Industries*, Butterworth Heinemann,. Elsevier.
- [2] Mollinedo, H., Mendoza-Escamilla, V.X., Rivadeneyra-Romero, G., Gonzalez-Neria, I., Yañez-Varela, J.A., Alonzo-García, A., Lugo-Hinojosa, J., Martínez-Delgadillo, S.A., 2022. Power Consumption and Energy Dissipation Rate Reduction in Agitated Tanks by Control Rods Attached to a Pitched Blade Impeller. *Ind. Eng. Chem. Res.* <https://doi.org/10.1021/ACS.IECR.2C01623>
- [3] Fan, Y., Sun, J., Jin, J., Zhang, H., Chen, W., 2021. The effect of baffle on flow structures and dynamics stirred by pitch blade turbine. *Chem. Eng. Res. Des.* 168, 227–238.
- [4] F.R. Khan, C.D. Rielly, D.A.R. Brown, Angle-resolved stereo-PIV measurements close to a down-pumping pitched-blade turbine, *Chem. Eng. Sci.* 61 (2006) 2799–2806.
- [5] Aubin, P. Mavros, D.F. Fletcher, J. Bertrand, C. Xuereb, Effect of axial agitator configuration (up-pumping, down-pumping, reverse rotation) on flow patterns generated in stirred vessels, *Trans IChemE* 79 (2001) 845–856.
- [6] P.J. Boache, Perspective: a method for uniform reporting of grid refinement studies, *J. Fluids Eng. Trans. ASME* 116 (1994) 405–413, <https://doi.org/10.1115/1.2910291>.

Análisis Mef de estructura portante-plataforma de horno para tratamiento térmico del tipo rotativo

O. I. Zavala Martínez^{1*}, J. V. Rodríguez Ávalos¹, J. L. Grimaldo Balderas¹, C. C. Monasterio Cruz¹,
J. Compean Rodríguez¹

¹Departamento de Metal-Mecánica, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Av. Tecnológico S/N, Soledad de Graciano Sánchez, CP. 78437, S. L. P. México

*oscar.zm@slp.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Mecánica

Resumen

Uno de los procesos de manufactura bastante importante que es realizado en los sectores industriales es el llamado "tratamiento térmico". En el presente trabajo se desarrolla el análisis estructural de una propuesta de diseño de la estructura portante y plataforma de un horno para tratamiento térmico del tipo "rotativo" de acuerdo a las condiciones y necesidades solicitadas por una empresa ubicada en el estado de Guanajuato, el cual deberá tener una capacidad de carga de 5900 N aplicado sobre el plato de la estructura, dicho elemento deberá tener un diámetro de 4254.5 mm. Para la validación de dicha propuesta se realizaron análisis por elemento finito a la estructura portante mediante el método del elemento finito bajo condiciones de trabajo empleando el software CAD/CAE Catia V5 R20.

Palabras clave: horno rotativo, tratamiento térmico, método del elemento finito, análisis estructural.

Abstract

One of the quite important manufacturing processes that is carried out in the industrial area is the called "heat treating". In this paper, the structural analysis of a design proposal of the supporting structure and platform of "rotary" hearth furnace is developed according to the conditions and needs requested by a company located in state of Guanajuato, such structure must have a load capacity of 5900 N applied to the plate, said element must have a diameter of 4254.5 mm. For the validation this proposal, several finite element analyze were carried out on the bearing structure using the finite element method under working conditions using the CAD/CAE Catia V5 R20 software.

Key words: rotary hearth, heat treating, finite element method, structural analysis.

Introducción

En México el sector automotriz, así como el metal-mecánico presentan avances tecnológicos de alto estándar, los cuales son desarrollados por empresas nacionales y/o extranjeras. Con el fin de transformar la materia prima en un producto final donde se modifican las propiedades físicas, así como geométricas de las mismas, se deben realizar una serie de procesos de manufactura para tal efecto; uno de estos procesos es el tratamiento térmico, el cual involucra varios procesos de calentamiento y enfriamiento para efectuar cambios microestructurales en un material, los cuales modifican sus propiedades mecánicas [1]. Existe una variada cantidad de procesos térmicos que brindan una dureza superficial al metal como el acero, la gran mayoría de ellos se realizan en equipos conocidos como Hornos de tratamiento térmico, el presente trabajo se plantea el análisis de la estructura portante del horno del tipo rotativo en el cual se encuentran mecanismos alternativos para transportar el trabajo que incluyen configuraciones circulares que utilizan soleras giratorias [1].

A nivel internacional el primer horno rotativo se construyó en Estados Unidos de América en el año de 1978 por la empresa INMETCO [2, 3], de ahí su diversificación hacia el tratamiento térmico como proceso de fabricación continuo. En México es posible que en la década de los noventa del siglo pasado se haya construido el primer horno de tratamiento térmico de tipo rotativo debido al impulso económico que generó la firma del tratado de libre comercio entre México, EUA y Canadá.

Algunas de las características únicas de éste tipos de hornos son: capacidad de manejar velocidades de producción variables, diseño de soleras de uno o múltiples niveles, sello hermético de aceite a prueba de fugas, puertas de apertura (carga y descarga) con cilindro automático, plataformas de control que brindan una capacidad total de monitoreo, control, seguimiento y retroalimentación de datos. Los procesos térmicos que se realizan en dichos hornos son: recocido, recocido isotérmico, normalizado, relevado de esfuerzos, revenido, envejecido.

En base a los análisis técnicos que se deben generar para la liberación del proyecto, se presentarán en este trabajo los estudios del comportamiento estructural desarrollados en software CAD/CAE, así como la selección de componentes específicos para la implementación del proyecto, debido a la confidencialidad del mismo no es posible presentar todo el sistema en su totalidad.

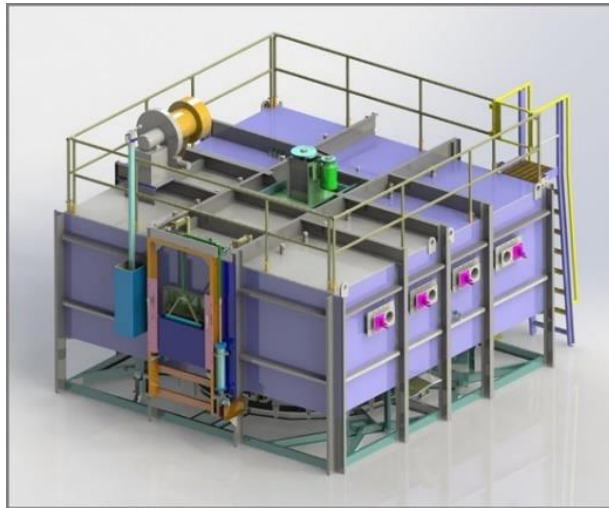


Figura 1. Horno para tratamiento térmico del tipo rotativo.

Las condiciones que deberá cumplir el horno rotativo para su funcionamiento óptimo son las siguientes: La velocidad de giro promedio del plato giratorio será entre 0.75 rpm a 1 rpm, la temperatura de operación entre 870 °C a 927 °C, las dimensiones máximas de las piezas de trabajo serán de 560 mm x 410 mm x 229 mm, el diámetro de la plataforma será de 4254.5 mm, la carga de trabajo en el rango de 4900 N hasta 5900 N.

Metodología

Horno de tratamiento térmico del tipo rotativo

Los hornos del tipo continuo se pueden clasificar como hornos de cámara recta y hornos rotativos [4]. Se les cataloga como hornos continuos debido a que el proceso no es interrumpido en el intercambio de piezas de trabajo. Los hornos del tipo rotativo para tratamiento térmico están conformados por una plataforma, de forma circular conocida como plato giratorio, tal elemento se posiciona sobre el plano horizontal. Otros componentes esenciales para el correcto funcionamiento del horno son: estructura portante, carcazas, puertas, material refractario, pista, patines, motor eléctrico, reductor de velocidad, sistema de ventilación, sistema de calentamiento eléctrico o de gas, sistema limitador de par de torsión.

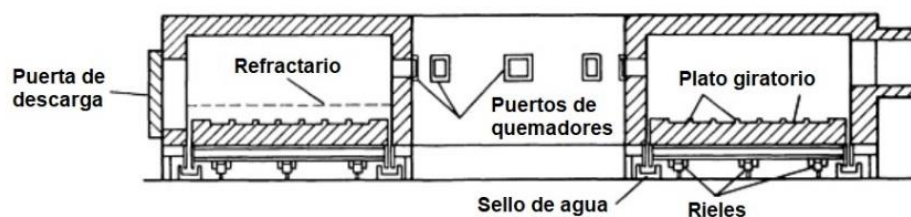


Figura 2. Esquema general de Horno rotativo de proceso continuo [4].

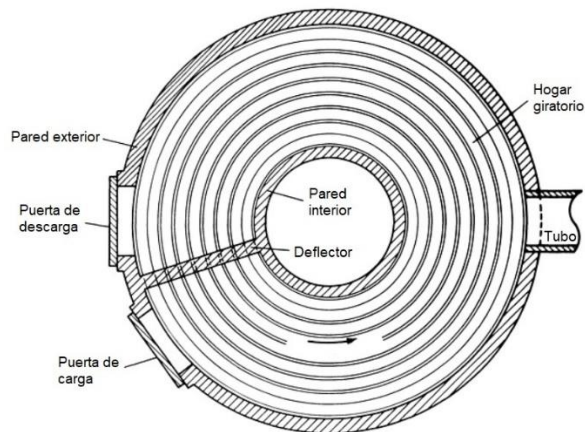


Figura 3. Disposición de un horno rotativo de proceso continuo [4].

En la figura 2 y 3 se ilustra el esquema simple de la plataforma de un horno rotatorio, el cual gira en el interior entre paredes (exterior e interior) formadas de material refractario, contando con puertas de carga y descarga de material, en este caso el deflector o plato giratorio es quien soporta la superficie o cubierta de material refractario. El plato gira a través de un conjunto de patines los cuales están apoyados sobre rieles, con lo cual hacen posible el movimiento continuo a velocidad constante.

Componentes estructurales modelados

Plataforma. La estructura que forma la plataforma es la parte más relevante del presente estudio, como ya se mencionó deberá cumplir con ciertas condiciones dimensionales, así como un grado de rigidez para soportar la carga, el diámetro de la misma deberá ser de 4254.5 mm (ver figura 4) mostrando el modelo CAD. El material de fabricación propuesto es de acero ASTM A-36, el espesor promedio del material es de 6.36 mm.

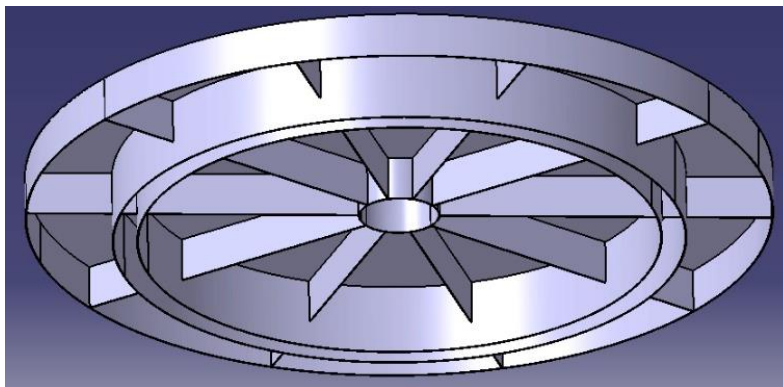


Figura 4. Estructura de la plataforma del plato.

Estructura portante. El modelo CAD propuesto está conformado de una estructura de forma hexagonal (base inferior) la cual está formada por 6 perfiles estructurales cuya sección transversal es tipo C, sus medidas son 48.77 mm x 152.4 mm, en su parte intermedia se modela el soporte el cual tendrá como objeto ubicar la flecha del horno y a su vez soportará la plataforma principal de dicho horno, ver figura 5. De la misma manera que la estructura de la plataforma el material de fabricación para la estructura portante será acero ASTM A-36, para la flecha se seleccionó acero AISI 1045.

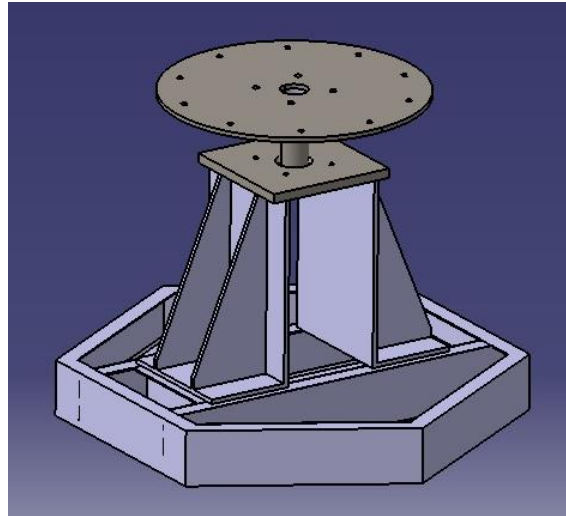


Figura 5. Estructura portante de la plataforma.

El modelo ensamblado de la estructura portante y plataforma del plato giratorio se muestra en la figura 6.

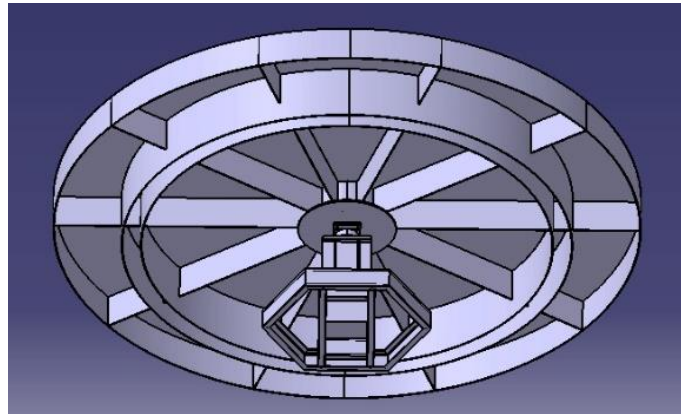


Figura 6. Estructura portante y plataforma para el plato giratorio.

Desarrollo

Parametrización de los modelos CAD. La discretización del modelo CAD de la estructura portante se realiza en el módulo “Generative Structural Analysis” donde se aplican las condiciones de carga de operación junto al peso del refractario ubicados sobre la misma plataforma o plato (siguiente figura), la magnitud considerada fue de 73300 N.

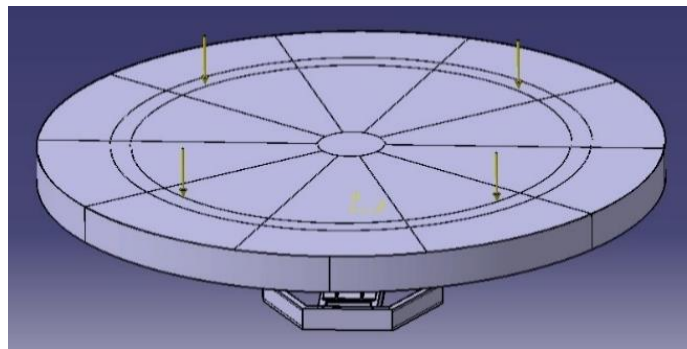


Figura 7. Cargas sobre el plato del horno rotativo.

Las condiciones de frontera o restricciones de desplazamiento se ubicaron en la superficie inferior de la estructura portante.

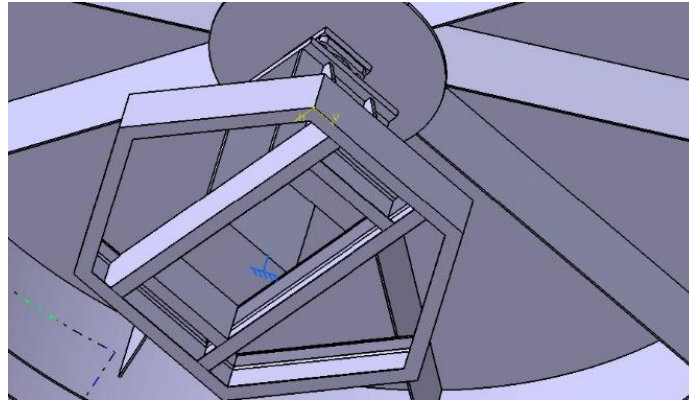


Figura 8. Condiciones de frontera ($u = 0$) en la estructura portante.

Se considero un tipo de malla acorde al análisis estático lineal [6], eligiendo para ello el elemento de discretización conocido como tetraedro [7]. El material de caracterización para la mayoría de las partes fue el acero ASTM A-36, a excepción de la flecha (que ensambla el plato con la estructura portante) la cual se caracterizó de acero AISI 1045. En la figura 8 se muestra el modelo ensamblado del horno rotativo con la malla discretizada para el análisis por elemento finito, donde la cantidad de elementos generados es de 59197, el número de nodos es de 114127 y la cantidad total de grados de libertad es de 342435.

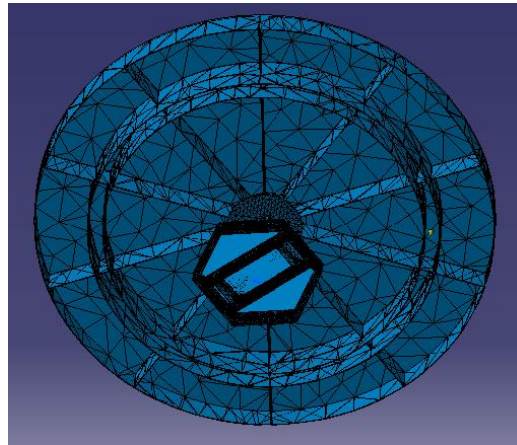


Figura 9. Mallado final de la estructura.

Para el análisis numérico se emplearon las siguientes propiedades de los materiales:

Tabla 1. Propiedades de los aceros caracterizados en el análisis estructural.

Propiedad Característica	Acero ASTM-A36	Acero AISI 1045
Esfuerzo de Fluencia	250 MPa	530 MPa
Relación de Poisson	0.266	0.3
Módulo de Young	200000 MPa	200000 MPa

Resultados y discusión

En base a la parametrización generada, se procede a realizar los diversos análisis estáticos mediante el método del elemento finito apoyados del módulo "Generative Structural Analysis", a continuación se presentan los resultados de la concentración de los esfuerzos de Von mises (ver figuras 10, 11), donde la mayor magnitud de dichos esfuerzos fue de 188 MPa y se localizó en la estructura portante, el modelo de la estructura del plato giratorio presento un esfuerzo de 2.41 MPa.

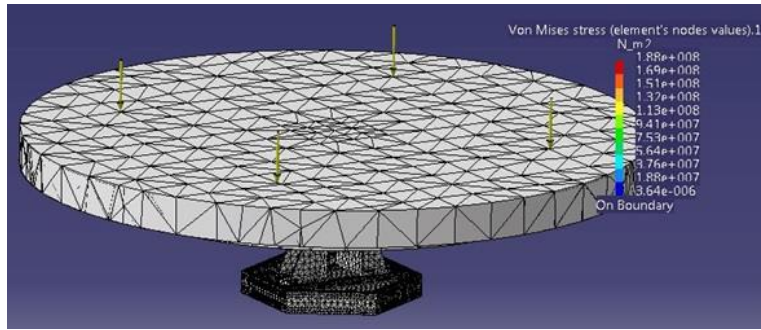


Figura 10. Esfuerzos de Von mises en la estructura portante.

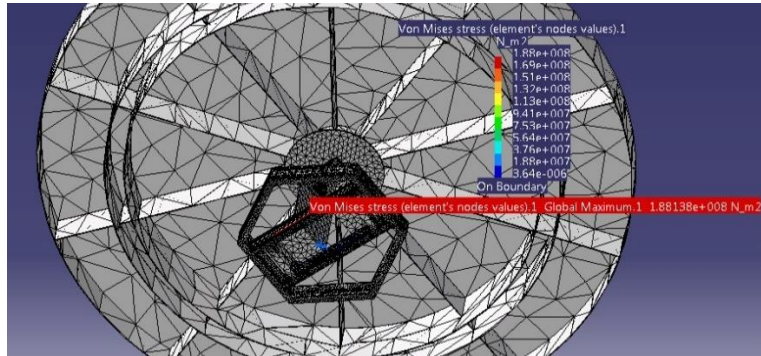


Figura 11. Localización del nodo con la mayor magnitud del Esfuerzo de Von mises.

El punto de mayor concentración del esfuerzo de Von mises se ubica en la base inferior de la estructura portante (ver figura 10). En la siguiente tabla (2) se muestran las magnitudes de los esfuerzos máximos generados en cada uno de los modelos CAD.

Tabla 2. Resultados obtenidos de los Esfuerzos de Von mises.

Modelo CAD analizado	Esfuerzo de Von mises máximo (MPa)
Plato giratorio	0.736
Estructura del plato	2.41
Estructura portante	188

Con el fin de detectar una posible falla por contacto o deformación, se analizan los estudios de los desplazamientos que ocurren en los modelos parametrizados. A continuación, se presentan dichos resultados (ver figura 12 y 13), donde la magnitud del mayor desplazamiento fue de 0.0057 mm.

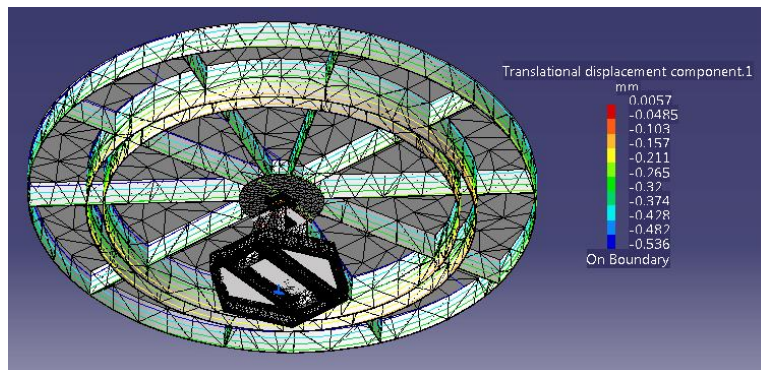


Figura 12. Desplazamientos en la estructura.

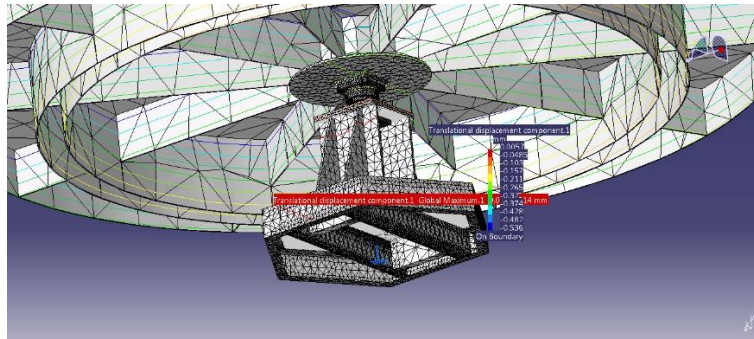


Figura 13. Localización del nodo con la mayor magnitud del desplazamiento.

Con el estudio concluido, es necesario obtener el factor de seguridad [5, 6], así verificar si la propuesta de la estructura se encuentra en condiciones de operación aceptables. Para ello consideramos la teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles [5], con materiales seleccionados como el acero ASTM A-36 y el acero AISI 1045. Considerando que el punto de mayor magnitud del esfuerzo de Von mises se ubica en una pieza de acero ASTM A-36, la magnitud del factor de seguridad para dicho esfuerzo máximo de Von Mises será:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{250 \text{ MPa}}{188 \text{ MPa}} = 1.33 \quad (1)$$

Con tal resultado se puede establecer que la estructura se encuentra dentro de condiciones óptimas de trabajo, ya que no mostrará fallas por fluencia de los materiales que conforman las estructuras.

Trabajo a futuro

Un aspecto importante es seleccionar el perfil óptimo tanto para la plataforma como para la estructura portante, por ello es conveniente considerar en estudios posteriores las diversas técnicas que ayuden en la optimización tanto de las dimensiones de la sección transversal y sus espesores, sin demeritar la rigidez estructural.

Conclusiones

Se elaboró la propuesta estructural del horno rotativo a partir de las necesidades como son la carga de trabajo y sus dimensiones, partiendo de modelos CAD generados de forma individual para posteriormente ser ensamblados en el módulo "Product" del software Catia V5. A partir del modelo CAD propuesto se desarrolló el análisis por elemento finito, con lo cual se obtuvo un esfuerzo máximo equivalente de Von mises igual a 188 MPa, lo cual indica que tanto la estructura del plato como su estructura portante (base) no fallarán bajo condiciones de trabajo ya que el factor de seguridad es mayor a la unidad (1.33). En base a los resultados de los desplazamientos (0.0057 mm) se realiza un análisis geométrico de todos los componentes en el modelo CAD, concluyendo que ninguno causa interferencia, de esta manera los elementos cumplirán sus funciones estructurales óptimamente.

Dada la razón principal del presente estudio, que fue validar la rigidez de la estructura portante y el plato del horno de tratamiento térmico del tipo rotativo, cuyos resultados indican que son aceptables, a lo cual se presentaron tales evidencias en el reporte técnico final del proyecto, donde también se incluyeron la selección y diseño de más componentes los cuales por cuestiones de confidencialidad no es posible compartir en la presente publicación.

Agradecimientos

Al Ingeniero Adán Galván Chávez por la vinculación, las facilidades, así como la confianza que en todo momento ofreció para culminar tal estudio. De igual manera al Instituto Tecnológico de San Luis Potosí a través del departamento de Metal-Mecánica por el apoyo otorgado para culminar el presente trabajo.

Referencias

- [1] M. P. Groover. *Fundamentals of modern manufacturing*. 7a ed. New York: Ed. Wiley. 2019.

- [2] L. Lehtinen, "Iron dynamics process: A new way to make iron," *Journal of Steel technology*, vol. 12, pp. 37-39, 1999.
- [3] Y. Zhang, Y. Qi. "Development Prospect of rotary hearth furnace process in China," *Advanced Materials Research*, vol. 746, pp 533-538, 2013.
- [4] ASM committee. *Heat treating, Metals Handbook, Vol 4*. 1a ed. USA: Ed. ASM International. 1991.
- [5] R. G. Budynas. *Shigley's Mechanical Engineering Design*. 11a ed. New York: Ed. McGraw-Hill. 2019.
- [6] T. R. Chandrupatla. *Introduction to finite elements in engineering*. 5a ed. New York: Ed. Cambridge University Press, 2022.
- [7] S. R. Singiresu. *The finite element method in Engineering*. 4a ed. Burlington, Ed. Elsevier Science & Technology, 2011.

Corte por cizallamiento de una silueta circular bajo condiciones de mínimo y máximo material

Pedro de Jesús García Zugasti^{1*}, José de Jesús Navarro Delgado²,
Enrique Alejandro Vázquez Hernández³, Yolanda Rodríguez Corpus⁴
^{1,2,3,4}Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, 1pedro.gz@slp.tecnm.mx,
2pcnd_1@hotmail.com, 3enrique.vh@slp.tecnm.mx, 4yolanda.rc@slp.tecnm
Área de participación: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica

Resumen

En este estudio sobre la operación de corte con punzón de una silueta de forma circular, utilizando un ángulo de cizallamiento en la matriz de la herramienta para reducir la fuerza de corte, se proponen dos ecuaciones que contemplan dos condiciones dimensionales particulares: a) La condición de mínimo espesor de material a ser cizallado; es decir, cuando el espesor del material a cortar no rebasa o es menor al cateto vertical del ángulo de cizallamiento y b) Condición de máximo espesor de material a ser cizallado; es decir, cuando el espesor del material a cortar rebasa o es mayor que el cateto vertical del ángulo de cizallamiento.

Palabras clave: Cizallamiento, silueta, fuerza de corte.

Abstract

In this study on the punch cutting operation of a circular sheet metal blank, using a tooling cut with a die shear angle to reduce the cutting force, two equations are proposed that contemplate two particular dimensional conditions: a) The condition of minimum thickness of material to be sheared; that is, when the thickness of the material to be cut does not exceed or is less than the side opposite to the shearing angle and b) Condition of maximum thickness of the material to be sheared; that is, when the thickness of the material to be cut exceeds or is greater than the side opposite to the shear angle.

Key words: Punching, blank, cutting force.

Introducción

El proceso de producción de corte con punzón de discos [1] ha sido estudiado poniendo énfasis en variables, como el ángulo de cizallamiento, porque reduce la fuerza de corte para dicha operación y esto es porque los materiales a procesar cada vez mejoran en características como sus propiedades mecánicas que los hacen más durables, pero también más resistentes para procesar. Se han realizado estudios para encontrar cuánto se reduce la fuerza de corte conforme el ángulo de cizallamiento es aumentado, por ejemplo, el experimento que más se asemeja a las condiciones del presente estudio es el realizado por Kutuniva et al. [2], quienes hicieron cortes de figuras circulares utilizando matrices de corte con ángulo de cizallamiento, con la diferencia de que el punzón en vez de terminar en punta, este terminaba en una cara plana de 1 mm con el propósito de reforzar el punzón. Gürün et al. [3] experimentaron con 5 diferentes ángulos de cizallamiento en el punzón y propusieron un modelo de lógica difusa que “calcula” la reducción en fuerza de corte a determinado ángulo de cizallamiento, sin concluir claramente el porqué de dicha reducción de fuerza. J. A. Karjalainen et al. [4] experimentaron con punzones cuya cara de corte estaba fabricada con forma senoidal y propusieron un modelo analítico que consistía en considerar que la fuerza de corte se asumiera “proporcional al área de cizallamiento.”, aunque sí plantearon un “modelo analítico” el fenómeno que estudiaron es de consideraciones geométricas diferentes a las de éste estudio y de costo elevado en comparación con la geometría comúnmente utilizada.

El presente trabajo está basado en una propuesta para determinar la “ecuación de fuerza de corte con un ángulo de cizallamiento para una figura circular” [5], mediante la manipulación de los cuerpos tridimensionales de la geometría involucrada en el proceso (ver figura 1), empleando un modelo en el cual el ángulo de cizallamiento divide la cara de corte en dos secciones, siendo el área mayor la que se emplea para contabilizar la fuerza de

cizallamiento (ver figura 2). En el modelo matemático utilizado se incluyeron las variables de la geometría y del proceso (ver figura 3) para deducir la expresión fuerza de corte siguiente:

$$V = \tau \cdot [(2 \cdot \pi \cdot r \cdot e) - (4 \cdot r^2 \cdot \tan \alpha)] \quad (1)$$

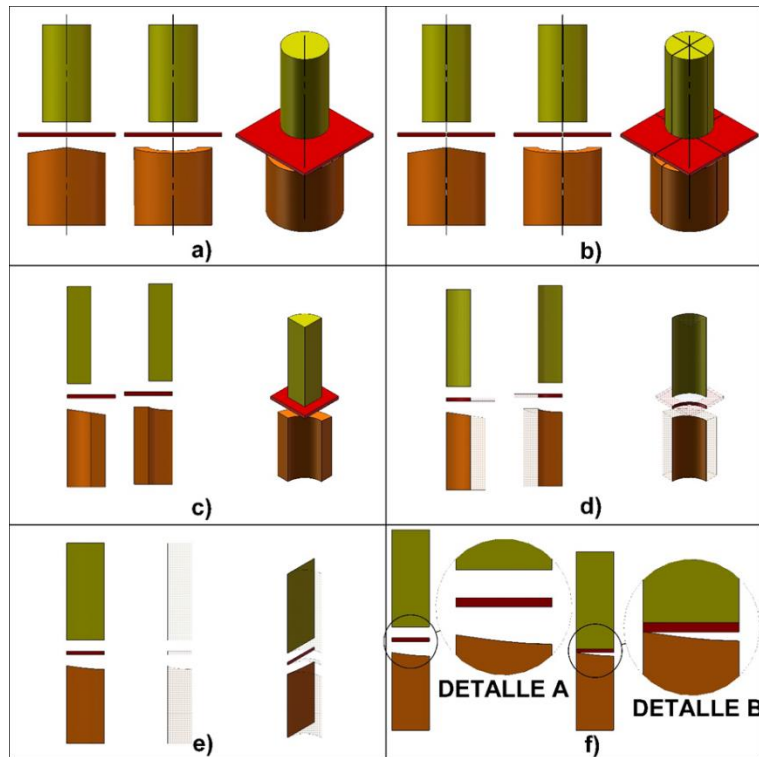


Figura 1. Proceso de corte con punzón y matriz incluyendo los cuerpos tridimensionales de la geometría involucrada en el proceso. De arriba a abajo y de izquierda a derecha en cada recuadro: a) Vista frontal, lateral e isométrica de la geometría de estudio, b) Seccionamiento de la geometría de estudio en 4 partes iguales, c) Eliminación de 3 partes de cada pieza, d) Señalización de las áreas tridimensionales que intervienen en el fenómeno del cizallamiento, e) Desdobles a dos dimensiones de las áreas que intervienen en el fenómeno y f) DETALLE A: áreas antes de interactuar, DETALLE B: áreas en contacto para interactuar.

Donde el ángulo de cizallamiento α de la herramienta es (ver figura 3):

$$\alpha = \arctan \frac{e}{b} \quad (2)$$

Los parámetros que intervienen en las ecuaciones 1.1 y 1.2 son:

τ = esfuerzo cortante promedio en la sección, para todo punto localizado en la sección.

r = diámetro de la figura de corte dividido a la mitad.

e = espesor del material a cortar.

α = ángulo de cizallamiento.

b = La cuarta parte del perímetro de la figura circular = $\frac{\pi \cdot r}{2}$

En este estudio acerca del cizallamiento de una figura circular se incorporan dos nuevas condiciones de operación: a) mínimo y b) máximo espesor de material (e) respecto del cateto vertical (h) del ángulo de cizallamiento (α) como se muestra en la figura 4, con el propósito de desarrollar una ecuación de cizallamiento que pueda emplearse cuando la matriz tenga un ángulo de cizallamiento para el máximo y mínimo espesor de material a cortar mediante el desenvolvimiento de la geometría tridimensional implicada a un plano bidimensional que permitirá identificar el área de mayor tamaño que podría ser utilizada.

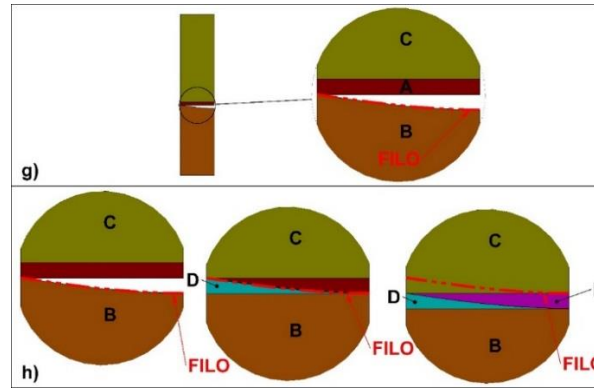


Figura 2. Parte g) Localización de áreas A, B y C y filo de cara B y parte h) Modelo para calcular la fuerza de corte considerando que el ángulo de cizallamiento divide la cara de corte en dos secciones, de las cuales, el área más grande (área E) es la que se toma en cuenta para calcular la fuerza de cizallamiento (de izquierda a derecha, interacción de áreas en el cizallamiento).

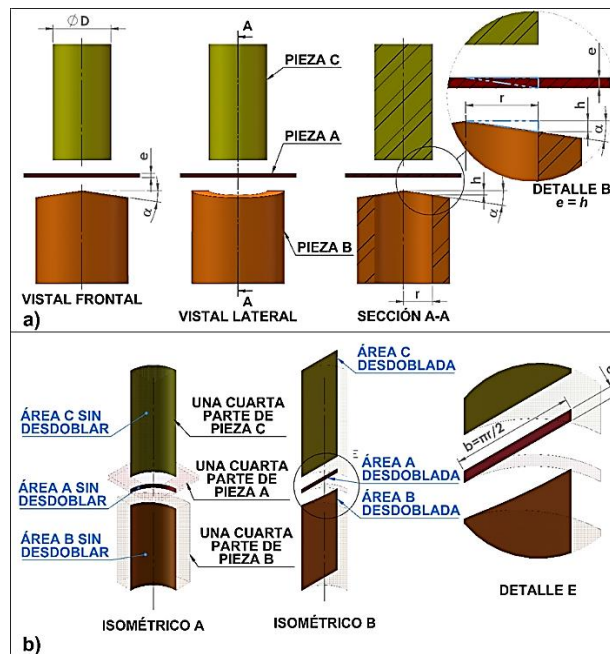


Figura 3. a) Vistas frontal, lateral, sección A-A y detalle B de las piezas junto con las variables que intervienen en la ecuación (e , r , h y α), nótese que se trazó un triángulo rectángulo de lados r y h tanto en el dado matriz (PIEZA B) como en la pieza a cortar (PIEZA A) para mostrar que el cateto h y e se trataron como iguales para el estudio en cuestión y b) Isométrico A: una cuarta parte de cada pieza y áreas sin desdoblar, Isométrico B: áreas desdobladas y detalle E mostrando las longitudes b y e .

Esfuerzo y Fuerza necesaria para la operación de cizallado.

La ecuación para calcular el esfuerzo cortante promedio [6] en la sección de corte (sección a cizallar) conociendo la fuerza de corte V y el área a cizallar A es la siguiente:

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (3)$$

Si se requiere calcular la fuerza de corte, en este caso denotándola como F , necesaria para realizar la operación de cizallado [6] se emplea la expresión:

$$F = \frac{t^2 \cdot K_s}{2 \cdot \tan \alpha} \quad (4)$$

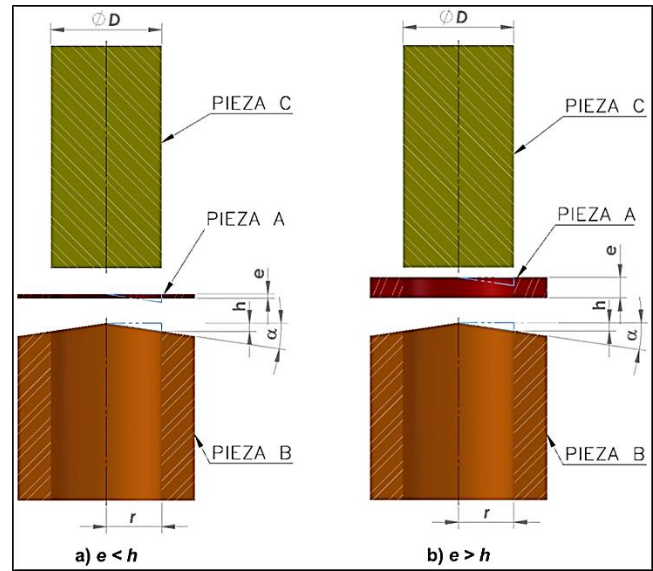


Figura 4. Operación de corte a) Condición de mínimo espesor de material a cortar, b) Condición de máximo espesor de material a cortar. En ambos casos se muestra el triángulo rectángulo (color azul) formado por el cateto horizontal r y el cateto vertical h cuyos lados forman el ángulo de afilamiento α en el dado matriz (PIEZA B), puede observarse también la dimensión del cateto vertical h respecto al espesor del material a cortar e (PIEZA A).

Donde K_s es la resistencia al corte del material cizallado, t el espesor de la lámina y el ángulo de cizallamiento α es obtenido con la ecuación 1.2 (ver figura 4).

Área total “contabilizada” para el cálculo de fuerza de corte cuando $\alpha > \arctan \frac{t}{b}$.

Para contabilizar la totalidad del área en cizallamiento, se emplea el concepto de resistencia en la sección a cortar y carga necesaria para vencer esta resistencia cuando $\alpha > \arctan \frac{t}{b}$, como se estableció en [6], a partir de un modelo de resistencia de materiales para calcular la fuerza de corte tomando en cuenta que el ángulo de cizallamiento divide la cara de corte en dos secciones, de las cuales, el área más grande es la que se “contabiliza” para calcular la fuerza de cizallamiento (ver figura 2).

Método.

El desarrollo de las expresiones derivadas de cada caso enunciado consiste en simplificar la geometría tridimensional y luego hacer la deducción de la fuerza necesaria para lograr el cizallado, esto para dos condiciones geométricas (ver figura 4)

Caso 1: máximo material, es decir, cuando el espesor de material a cortar e es mayor a h :

$$e > h \quad (5)$$

Caso 2: mínimo material, es decir, cuando el espesor del material a cortar e es menor a h :

$$e < h \quad (6)$$

Caso 1. Condición de máximo espesor de material cortar: Características geométricas de la herramienta $e > h$.

De la figura 4, se extrae la parte b) correspondiente al caso de estudio y en la figura 5 se presenta la vista frontal, lateral e isométrica, las características geométricas de ésta condición son:

- El material a cortar es plano (ver figura 5)
- La zona de corte tiene perfil circular, es decir, la matriz tiene hueco cilíndrico y el punzón es un cilindro sólido (ver figura 5c)
- La matriz de corte tiene ángulo de cizallamiento α (ver figura 5)
- El espesor de material a cortar e es mayor comparado con el cateto vertical h del triángulo rectángulo del cual forman parte los lados r , h y el ángulo α .

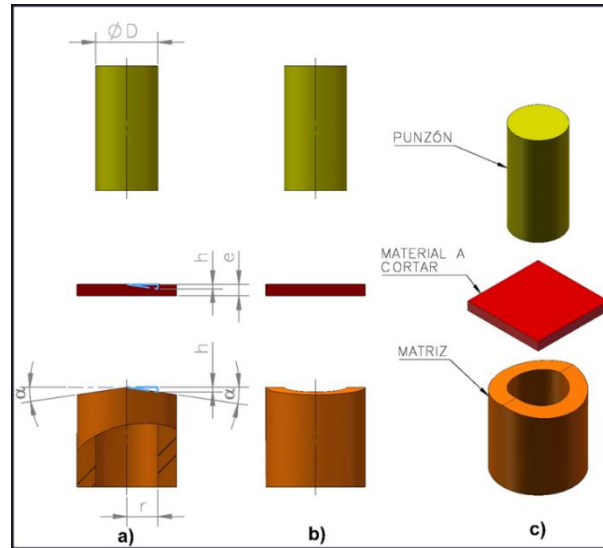


Figura 5. CONDICIÓN DE MÁXIMO ESPESOR DE MATERIAL A CORTAR. Características geométricas de la herramienta $e > h$. Extracción de la parte b) de la figura 4.

En la figura 6 se muestra la misma secuencia de pasos de la figura 5, y el procedimiento para simplificar la geometría involucrada en la operación de corte, que consiste en: particionar la geometría para (aprovechando la simetría), eliminar tres cuartas partes de la geometría (también aprovechando simetría en dos ejes), desdoblarse la geometría de superficies tridimensionales a bidimensionales y proceder con el análisis de la fuerza de cizallamiento (ver figura 7):

Basado en la figura 6i se procede al cálculo para contabilizar el área mayor que se opone al cizallamiento, observando que la curva desdoblada de la matriz no es una línea recta sino una curva, la ecuación que describe esta curva se estableció como: $u(x) = h \operatorname{sen} \frac{x}{r}$ [6], y el área de la región limitada por la gráfica de $u(x) = h \operatorname{sen} \frac{x}{r}$ y el eje x en $0 \leq x \leq \frac{\pi r}{2}$ (ver figura 7A) es:

$$A = r^2 \operatorname{Tan} \alpha \quad (7)$$

Esta área se apoya en los vértices A, B y C como se muestra en la figura 7, a esta área es necesario sumarle el área rectangular por encima de la línea que une los puntos A y C, resultando el área E (ver figura 7B):

$$\text{ÁREA } E = \left((e - h) \times \frac{\pi r}{2} \right) + (r^2 \operatorname{tan} \alpha) \quad (8)$$

El área E es el área mayor que se opone al cizallamiento durante la operación de corte, es decir la fuerza necesaria para iniciar y sostener el cizallamiento de toda el área a cortar se calcula con esta área.

Sustituyendo la ecuación 8 en la 3 y multiplicando por 4 debido a simplificación de 3 partes de la geometría antes realizada, se obtiene la expresión:

$$V = 4\tau \left(\left((e - h) \times \frac{\pi r}{2} \right) + (r^2 \operatorname{tan} \alpha) \right) \quad (9)$$

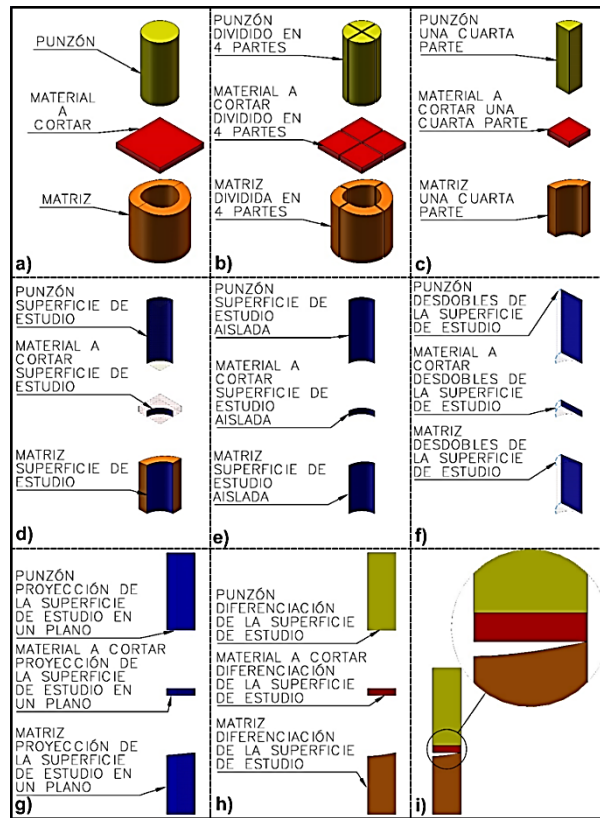


Figura 6. Características geométricas de la herramienta $e > h$. Procedimiento para simplificar la geometría. En la imagen i) las superficies están en contacto para comenzar el cizallamiento.

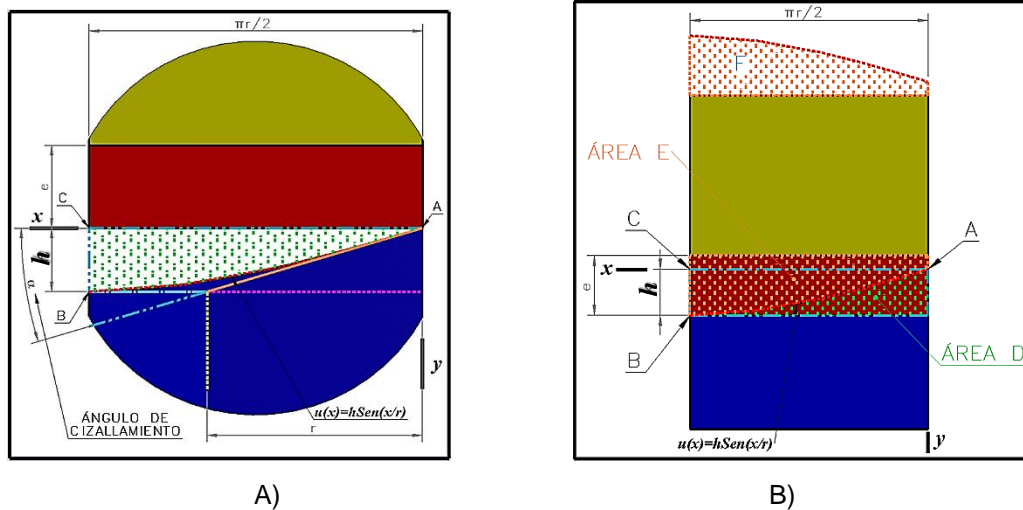


Figura 7. Características geométricas de la herramienta $e > h$. La figura contiene la ecuación de la curva que proviene del desdoblamiento a dos dimensiones de la cuarta parte de la matriz y la localización de los ejes x y y .

Simplificando se obtiene la fuerza de corte para la condición de máximo material $e > h$ siguiente:

$$V = \tau \left((2\pi r(e - h)) + (4r^2 \tan \alpha) \right) \quad (10)$$

Caso 2. Condición de mínimo espesor de material cortar: Características geométricas de la herramienta $e < h$.

De la figura 4, se extrae ahora la parte a) correspondiente al caso a estudiar y se presenta a continuación en vista frontal, lateral e isométrica en la figura 8, las características geométricas de ésta condición son:

- El material a cortar es plano (ver figura 8).
- La zona de corte tiene perfil circular, es decir, la matriz tiene hueco cilíndrico y el punzón es un cilindro sólido (ver figura 8c).
- La matriz de corte tiene ángulo de cizallamiento α (ver figura 8)
- El espesor de material a cortar e es menor comparado con el cateto vertical h del triángulo rectángulo del cual forman parte los lados r , h y el ángulo α .

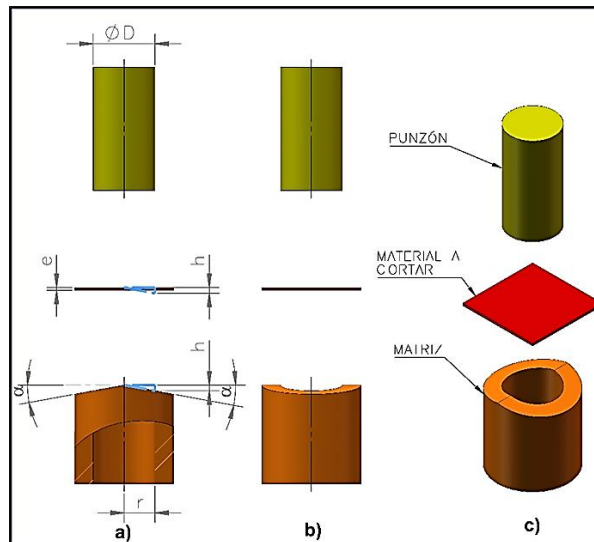


Figura 8. **CONDICIÓN DE MÍNIMO ESPESOR DE MATERIAL A CORTAR. Características geométricas de la herramienta $e < h$. Extracción de la parte a) de la figura 4.**

Para el caso 2 el procedimiento para encontrar las ecuaciones para ésta condición geométrica es similar al caso 1 antes planteado, además, como la geometría de la matriz no ha cambiado, se tomará como referencia nuevamente la figura 6.

En la figura 9 se ha trazado el perfil de la curva desdoblada de la matriz y las condiciones geométricas establecidas, que permite contabilizar el área mayor que se opone al cizallamiento. Para este caso el área mayor identificada es E (Ver figura 9B).

El área E está limitada por la curva descrita por el perfil desdoblado (ec. 11) y los ejes x y y (Ver figura 9B).

$$u(x) = h \sin \frac{x}{r} \quad (11)$$

Identificado los límites del área E, se procede al cálculo de la integral desde $x=0$ a $x=b=\frac{e}{\tan \alpha}$ expresada como:

$$\text{ÁREA } E = \int_0^{r \sin^{-1}(\frac{e}{h})} h \sin \left(\frac{x}{r} \right) \quad (12)$$

El resultado de la ecuación 12, es el área bajo la curva (ec. 11) la cual es también el área E:

$$\text{ÁREA } E = h \left[1 - \left(\cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{e}{h} \right) \right) \right) \right] \quad (13)$$

Sustituyendo en la ecuación 3, y recordando también que se tiene que multiplicar por 4 debido a la simplificación de 3 partes de la geometría original, se obtiene la expresión:

$$V = \tau A = \tau \times 4A = \tau \times 4 \left(\text{ÁREA } E \right) = 4\tau h \left[1 - \left(\cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{e}{h} \right) \right) \right) \right] \quad (14)$$

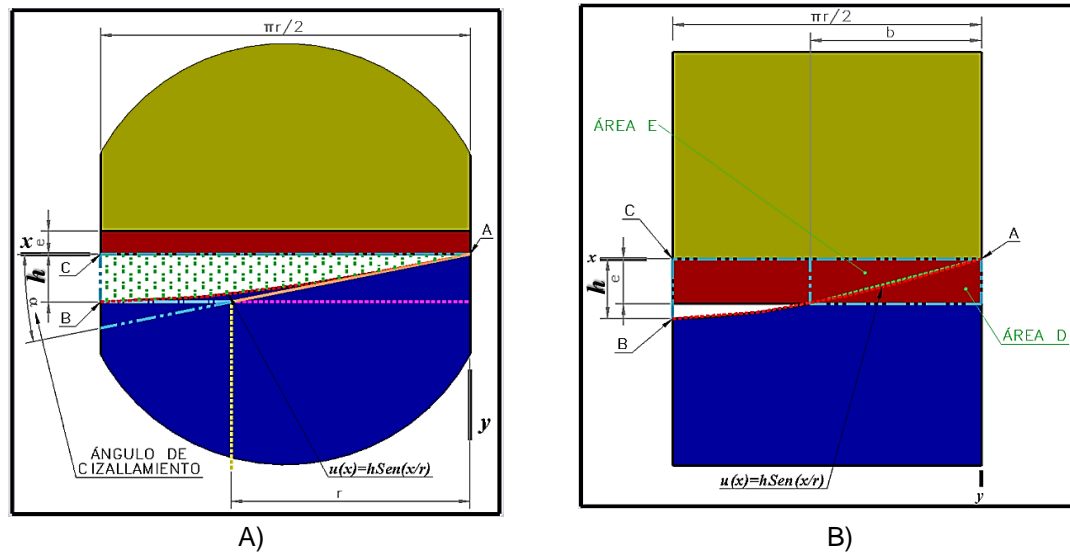


Figura 9. Características geométricas de la herramienta $e < h$. La figura contiene la ecuación de la curva que proviene del desdoblamiento a dos dimensiones de la cuarta parte de la matriz y la localización de los ejes x y y . En la parte B) los puntos de intersección de la curva con la sección a cortar genera un rectángulo de lados b y e .

Simplificando la ecuación 14 se obtiene la ecuación para calcular la fuerza de corte bajo la condición geométrica de mínimo espesor de material a cortar $e < h$:

$$V = 4\tau h \left[1 - \left(\cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{e}{h} \right) \right) \right) \right] \quad (15)$$

VALIDACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LAS EXPRESIONES PARA LOS CASOS 1 Y 2, CONSIDERANDO ESTUDIOS REPORTADOS EN LA LITERATURA ESPECIALIZADA

Con la finalidad de verificar y validar el concepto de contabilizar el área de mayor tamaño en oposición a ser cizallada que se propone en este trabajo para el desarrollo de las expresiones de los casos 1 y 2, se encontraron en la literatura especializada otros estudios experimentales que son similares a las condiciones geométricas estudiadas hasta ahora. A continuación, se muestran los resultados de la comparación de los resultados del presente estudio (ámbito del trabajo) con los resultados de un estudio “experimental” seleccionado [3].

La geometría del ámbito del trabajo [5] en la que se considera $e = h$, se compara con la geometría utilizada en el estudio experimental en la cual se utilizan dos condiciones: $e < h$ y $e > h$. La similitud existente entre ambos trabajos, es el ángulo de afilamiento simétrico con respecto al plano A (ver figura 10), mientras que la diferencia es el ángulo de afilamiento aplicado en la matriz (ver figura 10a) con $e = h$ en el caso del ámbito de trabajo y para el estudio experimental, el ángulo de afilamiento se aplica en el punzón (ver figura 10b) con $e < h$ y $e > h$.

RESULTADOS DE CALCULAR LA FUERZA DE CORTE DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL APLICANDO EL CONCEPTO DE LA CONTABILIZACIÓN DE LA TOTALIDAD DEL ÁREA MÁS GRANDE EN OPOSICIÓN A SER CIZALLADA.

El procedimiento para elaborar la gráfica de la figura 11 y la tabla 2 que se muestra a continuación, consiste en primero obtener los datos de entrada del experimento (ver Tabla 1) y posteriormente se calcula el promedio del esfuerzo cortante con $\alpha = 0^\circ$, la forma de calcularlo es utilizando la ecuación 3 con los datos de entrada de la Tabla 1 y también los resultados de la fuerza de corte experimental con $\alpha = 0^\circ$ que se reportan en [3]:

El valor de esfuerzo cortante experimental empleando la ecuación 3, es:

$$\tau_{\text{experimental con } \alpha=0^\circ} = \frac{V_{\text{experimental}}}{A_{\text{teórica}}} = \frac{\sum_{n=1}^n (V_{\text{experimental}/n})}{A_{\text{teórica}}} \quad (16)$$

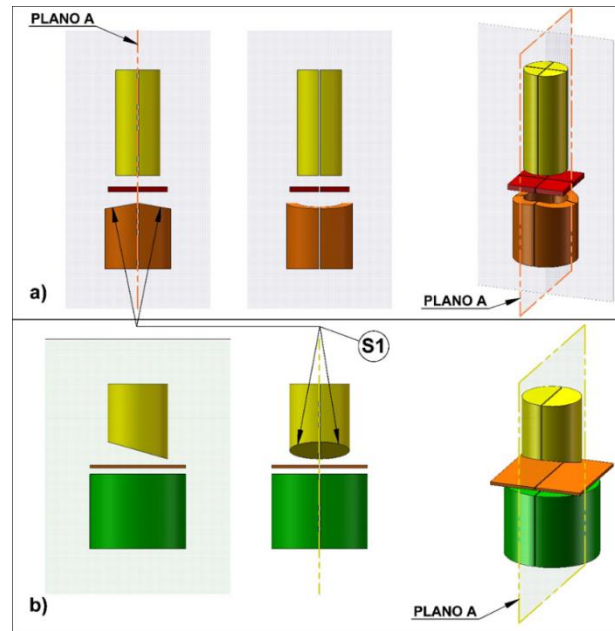


Figura 10. Características geométricas: a) Geometría ámbito del trabajo [1] y b) Geometría del estudio experimental [4].

Tabla 1. Datos de entrada de estudio experimental [3].

DATOS DE ENTRADA		
MATERIAL		DIN EN 10130-DC01
ESPESOR	(e)	1.0 mm
DIÁMETRO DE CORTE	(\emptyset)	20.0 mm
YIELD STRENGTH (ESFUERZO DE FLUENCIA)	(τ)	286.0 MPa

En donde:

$\tau_{experimental\ con\ \alpha=0^\circ}$ = esfuerzo cortante experimental con $\alpha = 0^\circ$

$V_{experimental}$ = fuerza cortante experimental

$A_{teórica}$ = área de cortante teórica con $\alpha = 0^\circ$

n = número de prueba

Con el valor de $\tau_{experimental\ con\ \alpha=0^\circ}$ se calcula el valor de la fuerza cortante teórica (ecuación 17) que después será graficado junto con la fuerza cortante experimental, para cada una de las 32 pruebas realizadas (ver figura 11).

$$V_{teórica\ con\ \alpha=0^\circ} = \tau_{experimental\ con\ \alpha=0^\circ} \times A_{teórica\ con\ \alpha=0^\circ} \quad (17)$$

Cálculo de $\tau_{experimental\ con\ \alpha=0^\circ}$:

$$\tau_{experimental\ con\ \alpha=0^\circ} = \frac{(1735.3\ N)}{(\pi * 20mm * 1mm)} = 27.6\ Mpa$$

Cálculo de $V_{teórica\ con\ \alpha=0^\circ}$:

$$V_{teórica\ con\ \alpha=0^\circ} = 27.6\ Mpa \times (\pi * 20mm * 1mm) = 1734\ N$$

Graficando $V_{teórica\ con\ \alpha=0^\circ}$ y $V_{experimental\ con\ \alpha=0^\circ}$ se obtiene la gráfica de resultados de la figura 11, los resultados muestran que el promedio de todas las diferencias es de 18.8% o expresado en otras palabras, el concepto de calcular la fuerza de corte contabilizando el área de mayor tamaño en oposición a ser cizallada se acerca en promedio en un 81.2% a la obtenida en el experimento, véase Tabla 2.

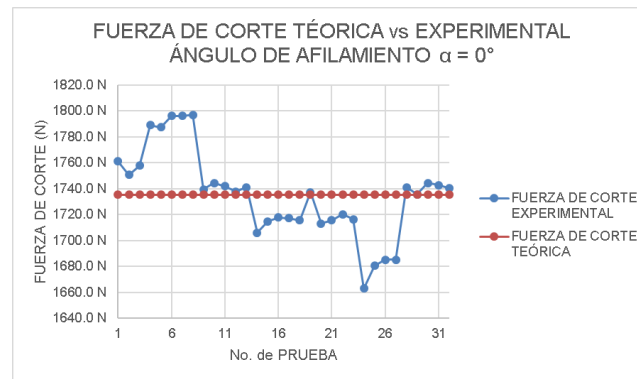


Figura 11 Gráfica de fuerza de corte teórica vs experimental con $\alpha = 0^\circ$.

Tabla 2 Diferencia entre fuerza cortante teórica vs experimental con $\alpha = 0^\circ$.

PRUEBA	ÁNGULO DE CIZALLAMIENTO ($^\circ$)	FUERZA DE CORTE EXPERIMENTAL PROMEDIO (N)	FUERZA DE CORTE TEÓRICA PROMEDIO (N)	DIFERENCIA (%)		
1	0	1761.0	1734	1.5		
2		1750.6		0.94		
3		1757.8		1.35		
...						
32		1740.3		0.36		
		PROMEDIO: 1735.3		PROMEDIO: 1.47		

Conclusiones

La investigación realizada contempló la literatura sin encontrar alguna expresión para el cálculo de la fuerza de cizallado como las ecuaciones 10 y 15 que se proponen en éste trabajo

Se mostró que el concepto de calcular la fuerza de cizallamiento contabilizando el área de mayor tamaño en el cizallamiento tiene una aproximación, respecto al estudio experimental considerado, de 81.2%.

Es posible realizar el cálculo de la fuerza de corte de una figura circular para las condiciones geométricas estudiadas, dato que servirá para la toma de decisiones correctas en los siguientes casos: Si el espesor de material a cortar es más grande que el cateto vertical h del ángulo de cizallamiento (**Condición $e > h$**) se conocerá la fuerza necesaria para cizallar la figura circular y se podrá seleccionar el equipo adecuado para la manufactura del corte. Si el espesor de material a cortar es más pequeño que el cateto vertical h del ángulo de cizallamiento (**Condición $e < h$**) se conocerá la fuerza necesaria para cizallar y se podrá decidir si es conveniente realizar el cizallado con ángulo de cizallamiento o no utilizarlo para no elevar el costo de fabricación de la herramienta.

Referencias

- [1] Bawa, H. S. Prensa y Prensado. *Procesos de manufactura* (386), McGraw-Hill, ISBN 9789701061282, 2007
- [2] K. Kutuniva, J. A. Karjalainen, y K. Mäntyjärvi, *Effect of Convex Sheared Punch Geometry on Cutting Force of Ultra-High-Strength Steel*, Key Engineering Materials, 2012. <https://www.scientific.net/KEM.504-506.1359> (accedido feb. 10, 2020).
- [3] H. Gürün, M. Göktaş, y A. Gültaş, *Experimental Examination of Effects of Punch Angle and Clearance on Shearing Force and Estimation of Shearing Force Using Fuzzy Logic*, T FAMENA, vol. 40, n.º 3, pp. 19-28, nov. 2016, doi: 10.21278/TOF.40302.
- [4] J. A. Karjalainen, K. Mäntyjärvi, y M. Juuso, *Punching Force Reduction with Wave-Formed Tools*, KEM, vol. 344, pp. 209-216, jul. 2007, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.344.209.
- [5] Navarro, J. (2015). *Determinación de la ecuación de fuerza de corte con ángulo de cizallamiento para una figura circular* [Tesis de maestría no publicada]. Instituto Tecnológico de San Luis Potosí.
- [6] K. Saanouni, N. Belamri, y P. Autesserre, *Finite element simulation of 3D sheet metal guillotining using advanced fully coupled elastoplastic-damage constitutive equations*, Finite Elements in Analysis and Design, vol. 46, no 7, pp. 535-550, jul. 2010, doi: 10.1016/j.finel.2010.02.002.

Calentador solar de agua con almacenamiento integrado

Vicente Flores, Jorge Bedolla, Marcos Bedolla, J. Michael Cruz, Efrén Sánchez

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Apizaco
Conurbado Apizaco-Tzompantepec, esquina con Av. Instituto Tecnológico S/N, Tlaxcala México.

Área de participación: *Mécanica*

Resumen

Se presenta el estudio térmico de un calentador agua solar con almacenamiento autocontenido para uso doméstico, está integrado como un solo elemento de captación y almacenamiento, con capacidad de 220 litros. El estudio se realizó en cuatro configuraciones diferentes del calentador solar. Con base en pruebas experimentales, el usar superficie reflejante mejora el desempeño, sin embargo, es más significativo el uso de doble cristal. El mayor gradiente de temperatura se obtiene con doble cristal y superficie reflejante, siendo hasta de 20°C, llevando los 220 litros a 51.1°C, con radiación promedio de 736 W/m². Con doble cristal, se logra un gradiente de 18.1°C, el peor de los casos ocurrió con el uso de un solo cristal elevando la temperatura del agua a 38.5°C. El sistema presenta una caída de temperatura del agua durante la noche hasta en 10°C, alcanzando en promedio coeficientes de pérdidas globales de 11.3 W/m² K.

Palabras clave: *calentador, agua, almacenamiento, integrado*

Abstract

The thermal study of a solar water heater with self-contained storage for domestic use is presented, it is integrated as a single collection and storage element, with a capacity of 220 liters. The study was conducted in four different configurations of the solar heater. Based on experimental tests, using a reflective surface improves performance, however, the use of double glass is more significant. The highest temperature gradient is obtained with double glass and reflective surface, being up to 20°C, taking the 220 liters to 51.1°C, with average radiation of 736 W/m². With double glass, a gradient of 18.1°C is achieved, the worst case occurred with the use of single glass raising the water temperature to 38.5°C. The system presents a drop in water temperature during the night of up to 10°C, reaching average global loss coefficients of 11.3 W/m² K.

Key words: *heater, water, storage, integrated*

Introducción

El sector residencial en México es el responsable del 14% de todo el consumo de energía del país (756 petajoules por año en México, año 2016). El 72% de la energía en este sector se utiliza también en forma de calor de baja temperatura para la cocción de alimentos y calentamiento de agua para usos sanitarios. El calor es el mayor uso final de energía, pues representa alrededor de la mitad del consumo mundial de energía y contribuye significativamente a las emisiones de CO₂. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, el calor renovable ha experimentado un crecimiento del 23% entre 2007 y 2015, pero su potencial permanece en gran medida sin explotar. México cuenta con un potencial técnico y económicamente factible de 9 GWt de colectores solares que podrían instalarse en la industria mexicana entre el periodo 2010-2030 [1].

Las tecnologías más desarrolladas y con mayor aplicación en el aprovechamiento de la energía solar a nivel mundial, son el calentamiento de agua para uso doméstico, la generación de energía con paneles fotovoltaicos y la generación de potencia con concentración solar. Hasta el 2015 la capacidad instalada fue de 435 GW, para el segundo caso 227 GW y para el tercer caso de 4.8 GW [2-5]. En México la capacidad instalada de calentadores solares de agua en 2021 fue de 7040 megavatios, lo que representó un crecimiento de alrededor del 25.4% en relación con el 2020 [1]

La demanda de energía para el calentamiento de agua puede satisfacerse por varias vías, como el uso de la electricidad, los combustibles fósiles; sin embargo, su uso se hace cada día más costoso, el cual puede reducirse con calentadores de agua basados en energía solar sumando los efectos benévolos al ambiente por la reducción de gases de efecto invernadero [6]. El diseño óptimo de un calentador solar de agua depende de muchos parámetros del sistema, incluyendo datos de clima, consumo de agua caliente, ángulo de inclinación, especificaciones del colector (área, fluido de trabajo, flujo másico, volumen del tanque de almacenamiento) [7-9]. De las tecnologías solar para el calentamiento de agua más empleadas son, la de tubo evacuado, la de placa plana, la de placa plana sin cubierta transparente, la de tubo de calor y el calentador con almacenamiento integrado, de esta última, se han propuesto variantes que van desde un cilindro con recubrimiento en pintura negra, como captador solar y almacén térmico expuesto directamente a la radiación solar, aquellos que incluyen superficies de concentración con geometrías parabólicas o parabólicas compuestas [10,12], o los que emplean panel fotovoltaico como superficie absorbedora [14] y los que utilizan materiales con cambio de fase o elementos que mejoran la transferencia de calor como los tubos de calor [13]. Todos ellos, a pesar de ser un dispositivo de muy bajo costo, tienen el inconveniente de presentar altas pérdidas térmicas, siendo hasta el momento el problema común en la mayoría de los diseños propuestos, tal es el caso de los diseños propuestos y estudiados en [15-19]. En ellos, el foco de un concentrador parabólico compuesto es el depósito térmico, en él se alcanzan temperaturas del agua cercanas a 60°C, sin embargo, durante la noche o momentos de ausencia de radiación solar la temperatura disminuye notablemente, ya que el depósito se encuentra expuesto al ambiente solo con la protección de la cubierta transparente. En el presente trabajo se estudia una geometría de calentador solar que integra en un solo gabinete su depósito térmico, siendo el dispositivo una propuesta nueva de calentador solar, a diferencia de los calentadores existentes, el aquí estudiado sitúa al depósito térmico en el extremo con desnivel superior a la superficie de captación, el propósito es generar una zona con mayor temperatura, esta zona se encuentra aislada térmicamente para reducir las pérdidas térmicas. El estudio se hace de forma experimental ensayando 4 configuraciones, buscando establecer la que mejor desempeño térmico presente. El desempeño térmico se basa en el gradiente térmico provocado a los 220 litros de agua con base en la radiación solar recibida, así como, con base a las pérdidas de calor al ambiente durante las horas de ausencia de energía solar.

Marco teórico

En la Figura 1 se muestra un esquema de las energías y elementos del sistema solar, involucrados en el calentamiento de agua. Representa el corte transversal del calentador con depósito integrado, resaltando los disipadores de calor acoplados a la superficie posterior de la placa absorbedora, así como, la superficie reflectora.

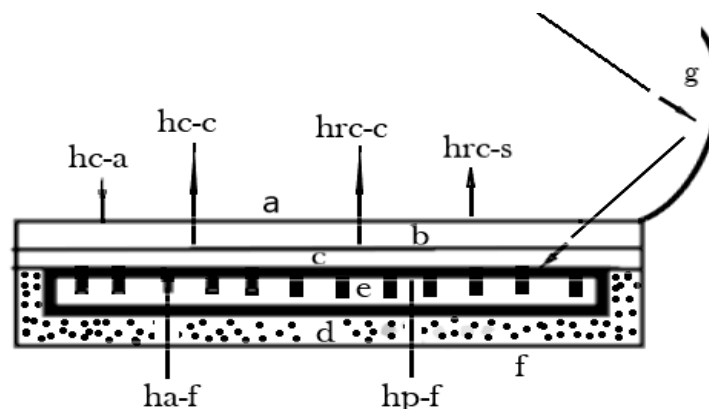


Figura 1. Calentador solar con aletas y superficie reflectora

- a: cubierta transparente exterior
- b: cubierta transparente interior
- c: superficie absorbedora
- d: aislante térmico
- e: aletas
- f: gabinete
- g: superficie reflectora

hc-a: coeficiente de convección entre la cubierta exterior y el ambiente

hrc-s: coeficiente de radiación entre la cubierta exterior y el cielo

hc-c: coeficiente de convección entre la cubierta interior y el aire entre las dos cubiertas

hrc-c: coeficiente de radiación entre las dos cubiertas
 ha-f: coeficiente de convección entre la aleta y el fluido.
 Hp-f: coeficiente de convección entre la placa absorbadora y el fluido

Con base en los elementos que componen el sistema del calentador solar con almacenamiento integrado y con superficie absorbadora con aletas, el balance de energía para la cubierta transparente externa, ec. (1) [16-18]:

$$\left(mc \frac{dT}{dt} \right)_{c1} = (SG)_{c1} + Shc_{c2-c1}(T_{c2} - T_{c1}) + Shr_{c2-c1}(T_{c2} - T_{c1}) - Shc_{c1-amb}(T_{c1} - T_{amb}) - Shr_{c1-s}(T_{c1} - T_s) \quad (1)$$

Donde:

m: flujo másico
 c: calor específico
 S: superficie de captación solar
 G: radiación solar
 h: coeficiente de convección
 hr: coeficiente de radiación
 T: temperatura
 c1 : cubierta transparente 1
 c2: cubierta transparente 2
 amb: ambiente

El balance de energía para la cubierta transparente interna, ec. (2) [11-13]:

$$\left(mc_p \frac{dT}{dt} \right)_{c2} = (SG)_{c2} - Shc_{c2-c1}(T_{c2} - T_{c1}) + Shr_{p-c2}(T_p - T_{c2}) - Shc_{c2-c1}(T_{c2} - T_{c1}) + Shc_{p-c2}(T_p - T_{c2}) \quad (2)$$

El balance de energía para la placa absorbadora, ec. (3) [11-13]:

$$\left(mc_p \frac{dT}{dt} \right)_p = (SG)_p - Shk_{p-w}(T_p - T_w) - Shr_{p-c2}(T_p - T_{c2}) - Shr_{p-c2}(T_p - T_{c2}) - S_w h k_{p-si}(T_p - T_{si}) \quad (3)$$

Balance de energía para el elemento de aleta, de altura dy , ec. (4) [14].

$$\left(-kS \frac{dT}{dy} \right)_{f, y=0} - \left(-kS \frac{dT}{dy} \right)_{f, y+dy} - 2h_w(L_f dy)(T_f - T_w) = 0 \quad (4)$$

Donde:

k: conductividad térmica
 S: superficie
 L_f: longitud de la aleta
 f: aleta
 w: agua

Para describir el fenómeno convectivo del agua en el interior del calentador, ec. (5, 6 y 7) [12,14].

$$Nu = 1 + \left[1 - \frac{1708}{Ra} \right]^* \left[k_1 + 2 \left(\frac{Ra^{1/3}}{k_2} \right)^{1 - \ln(Ra^{1/3}/k_2)} \right] + \left[\left(\frac{Ra}{5803} \right)^{1/3} - 1 \right]^* \quad (5)$$

Donde:

Pr: número de Prandtl
 Ra: número de Rayleigh

$$k_1 = \frac{1.44}{1 + \frac{0.018}{Pr} + \frac{0.00136}{Pr^2}} \quad (6)$$

$$k_2 = 75e^{(1.5Pr^{-1/2})} \quad (7)$$

Sistema experimental

Diseño de placa absorbedora

La función de la placa absorbedora es absorber la energía radiante del sol y transferir energía hacia el fluido de trabajo, esto último en la mayoría de los calentadores solares, ocurre por contacto directo entre la placa metálica y el fluido, en ello el área de transferencia de calor es fundamental, ya que la energía transferida es directamente proporcional al área de contacto. En el diseño de la placa absorbedora del calentador se priorizo en mejorar la transferencia de calor, para lo cual, se fijaron disipadores de calor en forma de aletas rectangulares en la superficie posterior de la placa.

Calentador solar autocontenido

El sistema experimental está integrado por los elementos siguientes, 1.- cubierta trasparente, 2.-absorbedor, placa metálica con recubrimiento en negro mate en la superficie frontal y disipadores de calor en la parte posterior, también llamado captador solar, 3.- depósito térmico, es una extensión del captador solar con geometría semicilíndrica de acero inoxidable cubierto con aislante térmico de lana mineral integrado a los elementos. La parte frontal es el captador y la parte inferior y superior es el depósito térmico. Figura 2.

Pruebas experimentales

El calentador solar se ensayó en 4 configuraciones, configuración 1 con una cubierta de vidrio (1C), configuración 2 con una cubierta de vidrio y superficie reflejante (2CR), configuración 3 con 2 cubiertas de vidrio (2C) y configuración 4 con dos cubiertas de vidrio y superficie reflejante (2CR). Las pruebas fueron realizadas en la ciudad de Apizaco (19° 25' latitud Norte, 98° 08' longitud Oeste y 2453 msnm) en los meses enero-febrero, con valores de radiación solar de 825 w/m², temperatura ambiente 22.5°C y velocidad del viento de 1.3 m/s, valores promedio diarios. El registro de datos fue cada 15 minutos, durante el intervalo de tiempo de 9:00 am a 5:00 pm. Los datos de operación externos registrados fueron, temperatura ambiente, velocidad del viento y radiación solar, los datos internos son, temperatura de la cubierta transparente, temperatura de la placa absorbedora, temperatura del agua almacenada. La instrumentación empleada y sus características técnicas se indican en la tabla 1. En la figura 3 se muestra el sistema experimental.

Tabla 1.- Instrumentación empleada para las pruebas experimentales

Instrumento	Función	Unidades	Rango	Precisión
Solarímetro	Medición de radiación solar	W/m ²	0.0 W/m ² – 9,999 W/m ²	±0.06%+0.5 W/m ²
Termómetro Fluke, sensores de superficie 80Pk	Medición de temperatura de superficie	°C	-100°C – 250°C	±0.05%+0.3°C
Termómetro Fluke, sensores de ambiente tipo k	Medición de temperatura del fluido	°C	-100°C – 200°C	±0.05%+0.3°C
Anemómetro Mlxsa-001	Medición de velocidad de viento	m/s	0.4 m/s a 30 m/s	3%
Termohigrómetro	Medición de humedad y temperatura ambiente	%, °C	Temperatura ambiente – 10°C a 60°C Humedad 0% a 100%	± 1.0 °C ± 5%

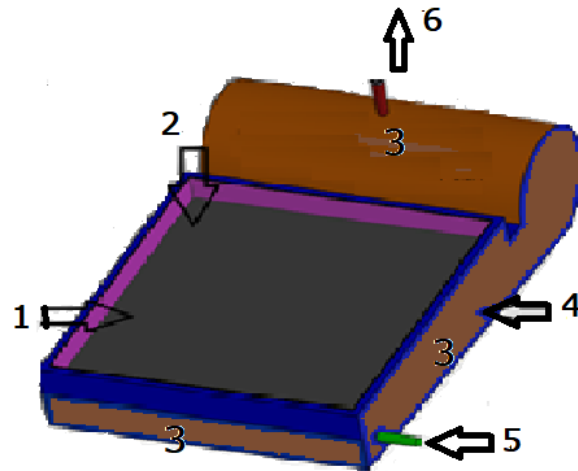


Figura 2.- Calentador solar con almacenamiento integrado

- 1.- cubierta transparente
- 2.- placa absorbedora
- 3.- deposito térmico
- 4.- gabinete que protege al aislante térmico
- 5.- alimentación agua fría
- 6.- salida agua caliente



Figura 3.- Sistema experimental del calentador solar

Resultados y discusión

Los resultados que en lo siguiente se muestran, representan el comportamiento térmico del calentador basado en el gradiente térmico provocado en el volumen de agua de 220 litros durante el día, así como, de las pérdidas térmicas desde el calentador al ambiente. Para hacer una comparación entre las 4 configuraciones se seleccionaron los días de pruebas en los que la radiación solar alcanzaba niveles cercanos a los 850 W/m^2 . Los casos más representativos del comportamiento de la temperatura del agua en el depósito se presentan en la Figura 5a y 5b, se observa en ambas figuras que los valores de la temperatura para la configuración de dos cubiertas y superficie reflejante son mayores y menores cuando la configuración es de una cubierta, en la Figura 5b es más notorio lo anterior. Información semejante se obtiene de las gráficas del comportamiento de la temperatura de la placa absorbedora, en la que también la configuración IV muestra mejor comportamiento, sin embargo, las configuraciones II y III se mantienen muy cerca, ver Figura 6. Cabe señalar, lo importante que es el conocer la disponibilidad de energía y las condiciones de pruebas para cada caso en particular y hacer una mejor comparación en el desempeño de las configuraciones.

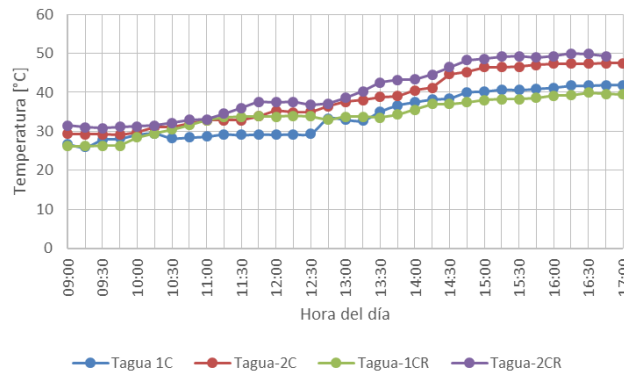


Figura 5a.- Comportamiento de la temperatura del agua durante el día

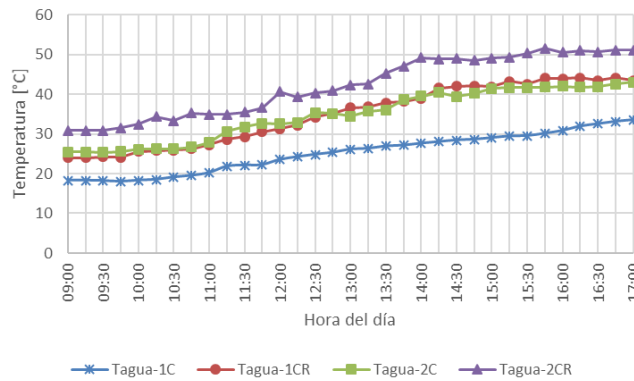


Figura 5b.- Comportamiento de la temperatura del agua durante el día

El disponer 220 litros de agua caliente por arriba de los 40°C es de considerarse un equipo solar con un desempeño apropiado para uso doméstico, ya que, para aseo personal, el superar la temperatura corporal genera confort en el individuo,

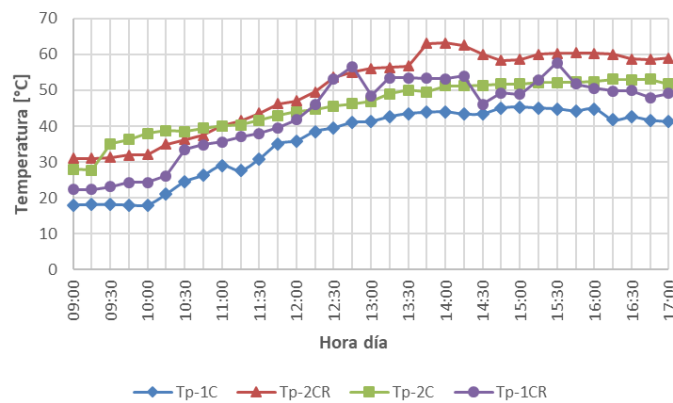


Figura 6.- Temperatura de la placa absorbadora durante el día

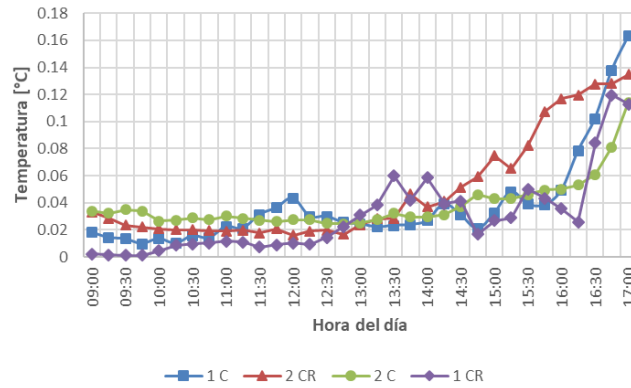


Figura 7.- Comportamiento térmico de las 4 configuraciones del calentador de agua.

La Figura 8, muestra el comportamiento de cada configuración con base en los gradientes de temperatura provocados a la masa de agua haciendo variar el nivel de solar al día. Para las configuraciones con un cristal se presenta el resultado de dos pruebas, para cuando es con dos cristales información de tres pruebas se presentan. Con un cristal se nota la mejoría cuando se agrega la superficie reflejante logrando hasta 18°C de gradiente térmico con 615 W/m² y sin superficie reflejante el gradiente máximo es de 15°C con 630 W/m². Semejante es el comportamiento para las configuraciones con dos cristales, con superficie reflejante el gradiente máximo es de 20°C con radiación de 740 W/m² y sin reflejante el gradiente es de 17.5°C para una radiación de 750 W/m².

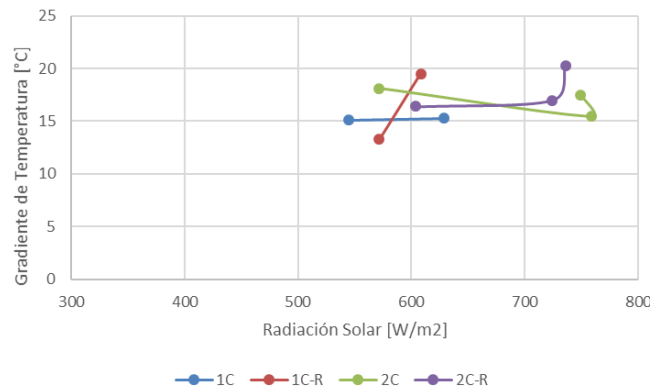


Figura 8.- Efecto del nivel de radiación solar en el aumento de temperatura del agua

Con el propósito de analizar las pérdidas de calor al ambiente, se hizo un comparativo entre la configuración con un cristal y la configuración con doble cristal, Figura 9 y 10. Los resultados muestran que es muy poca la reducción de pérdidas de calor, con una cubierta el máximo valor de pérdidas fue 16.16 W/m² mientras que con dos cubiertas la máxima pérdida es de 14.7 W/m². El uso de dos cubiertas permite aumentar la temperatura del sistema y por lo tanto la posibilidad de pérdida de calor al ambiente también crece, en el uso de una cubierta el gradiente térmico es menor y así su posible pérdida de calor.

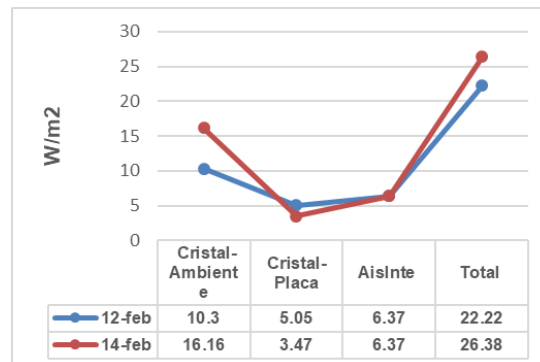


Figura 9.- Pérdidas térmicas del calentador con una cubierta transparente

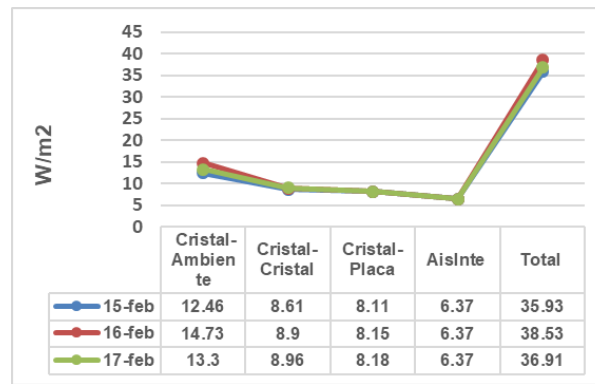


Figura 10.- Pérdidas térmicas del calentador con dos cubiertas transparentes

Trabajo a futuro

El próximo trabajo será dirigido a estudiar teórica y experimental diferentes geometrías de difusores de calor, que serán colocados en la superficie posterior de la placa absorbadora. Con lo anterior se espera mejorar la transferencia de calor, aumentar la temperatura del agua, o capacidad del depósito térmico, en el siguiente trabajo se evaluará la eficiencia térmica.

Conclusiones

Se presentó la propuesta de un sistema solar para el calentamiento de agua con almacenamiento integrado, con capacidad de 220 litros, en él, se resalta el acoplamiento de aletas rectangulares en la placa absorbadora para mejorar la transferencia de calor desde la placa al fluido, también el uso de superficies reflejantes; de esta forma se experimentó en 4 configuraciones y a partir de los resultados, se presentó la evaluación de diferentes parámetros para establecer la configuración con mejor desempeño térmico, así como para valorar la capacidad térmica de un sistema de calentamiento de agua que contiene a la vez el calentador de agua y el depósito, sin disponer del conducto hidráulico entre ambos; característica que reduce las pérdidas de energía por transporte del fluido, así como los costos de inversión. Con el uso de dos cubiertas con y sin superficie reflejante se logra mayor temperatura del agua al final del día, pero lo condiciona a presentarse mayores pérdidas de calor, sin embargo, no existe gran diferencia con las pérdidas en las configuraciones con una cubierta o dos cubiertas. Aunque si, es notorio la diferencia entre la temperatura de la placa absorbadora, con cubierta y sin cubierta, por ello el de buscar técnicas para mejorar el retiro de calor en la placa. Las pérdidas de calor con mayor magnitud ocurren por la parte frontal del calentador y en menor grado del lado del aislante térmico. El mayor calor útil se logró con la configuración de dos cubiertas y superficie reflectora de 0.639 kW.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado al proyecto, Sistemas alternativos para suministro de energía primaria en hogares rurales, con clave:14696.22-P

Referencias

- [1] Asociación Nacional de Energía Solar, www.anes.org.mx/calor-solar
- [2] Ruixiaoxiao Zhang Geoffrey Q.P. Shenb Meng NibJ ohnny K.W.Wong. Techno-economic feasibility of solar water heating sustainable energy technology and assesments 2018. Volume 30, December, pp. 164-173 (2018).
- [3] Mehdi Baneshi, Seyed Amir Bahreini. Impacts of hot wáter consumption pattern on optimum sizing and tech-noeconomic aspects of residential hybrid solar wáter heating systems. Sustainable energy technologies and asses-ments. Volume 30, December, pp. 139-149 (2018).
- [4] Ibrahim Halil Yilmaz. Residential use of solar wáter heating in Turkey. Journal of Cleaner Production. Volume 204, 10 December, pp. 511-524 (2018).

- [5] A. Prado, D.S. Sowmy. Innovations in passive solar water heating systems. *Advances in Solar Heating and Cooling*, 117-150.
- [6] Delgado R. Cambell HE. Adaptation and sizing of solar wáter heaters in desert áreas: for residential and hotels. *Energy Procedia* 1(57) 2725-32. pp. (2014)
- [7] A. Harmim, M. Boukar, M. Amar, Aek Haida. Simulation and experimentation of an integrated collector storage solar water heater designed for integration into building facade. *Energy*, 166, pp, 59-71. (2019)
- [8] M. Souliotis, D. Chemisana, Y. G. Caouris, Y. Tripanagnostopoulos. Experimental study of integrated collector storage solar water heaters. *Renewable Energy*, 50 (2013), 1083-1094.
- [9] M. Smyth, P. C. Eames, B. Norton. Integrated collector storage solar water heaters, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10 (2006) 503-538.
- [10] M. Smyth, P.C. Eames, B. Norton. Integrated collector storage solar water heaters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 10 (2006) 503–538.
- [11] G Fraise M. Pailha M. Swiatek C. Paulus J.Souza M. Cosnier N.Tixier. Study of a new Integrated Collector Energy Procedia 57 (2014) 2506-2514.
- [12] Hamdi Kessentini, Chiheb Bouden. Numerical and experimental study of an integrated solar collector with cpc reflectors. *Renewable Energy* 57 (2013) 577-585.
- [13] Matteo Bilardo, Gilles Fraise, Mickael Pailha. Modelling and performance analysis at a new concept of integral collector storage (ICS) with phase change material. *Solar energy* 183 (2019) 425-440
- [14] Behrooz M. Ziapour, Vahid Palideh, Ali Mohammadnia. Study of an improved integrated collector-storage solar water heater combined with the photovoltaic cells. *Energy Conversion and Management*, 86 (2014) 587-594.
- [15] H. Kessentini, C. Bouden. Numerical and experimental study of an integrated solar collector with CPC reflectors, *Renewable Energy* 57 (2013) 577-586.
- [16] R. Singh, I. J. Lazarus, M. Souliotis. Recent developments in integrated collector storage (ICS) solar water heaters: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54 (2016) 270-298
- [17] B. M. Ziapour, A. Aghamiri. Simulation of an enhanced integrated collector-storage solar water heater, *Energy Conversion and Management* 78 (2014) 193-203.
- [18] G. Fraise, M. Pailha, M. Swiatek, C. Paulus, J. Souza, M. Cosnier, N. Tixier. Study of a new Integrated Solar Collector, *Energy Procedia* 57 (2014) 2506 – 2514.
- [19] A. F. Mills, *Transferencia de calor*. Mc. Graw Hill, Colombia 1999.

Metodología para automatizar columnas de destilación

M. Ávila Lopez^{1*}, G. R. Urrea García ², G. E. Ovando Chacón³, A. Rodríguez León⁴, J. Gómez Rodríguez⁵

¹TecNM/Instituto Tecnológico de Veracruz / m21020032@veracruz.tecnm.mx

² TecNM/Instituto Tecnológico de Orizaba / galo.ug@orizaba.tecnm.mx

³ TecNM/Instituto Tecnológico de Veracruz / guillermo.oc@veracruz.tecnm.mx

⁴ TecNM/Instituto Tecnológico de Veracruz / abelardo.rl@veracruz.tecnm.mx

⁵ TecNM/Instituto Tecnológico de Veracruz / javier.gr@veracruz.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica.

Resumen

La automatización toma un papel importante en la actualidad, todo proceso industrial cuenta con autómatas encargados de mantener las variables del sistema bajo ciertos parámetros. En este trabajo se describe la metodología a utilizar para automatizar el subproceso de destilación, se mencionan algunas herramientas y consideraciones específicas. Se señala la importancia de identificar las variables involucradas y la importancia a la hora de programar y seleccionar un dispositivo de control. Los dispositivos mencionados son PLC y microcontrolador, siendo el mejor aquel que se adapte a las necesidades y requerimientos del proceso. A lo largo del artículo se cita como ejemplo las columnas de destilación de la Planta Piloto de Bioetanol ubicada en el Instituto Tecnológico de Veracruz.

Palabras clave: Automatización, PLC, Control, Instrumentación.

Abstract

Automation plays an important role today, every industrial process has automatons in charge of maintaining the system variables under certain parameters. This paper describes the methodology to be used to automate the distillation process, mentioning some specific tools and considerations. The importance of identifying the variables involved and the importance when programming and selecting a control device is pointed out. The devices added are PLC and microcontroller, being the best the one that adapts to the needs and requirements of the process. Throughout the article, the distillation columns of the Bioethanol Pilot Plant located at the Technological Institute of Veracruz are cited as an example.

Key words: Automation, PLC, Control, Instrumentation

Introducción

La estructura de un Sistema Automatizado puede clasificarse en dos partes claramente diferenciadas: por un lado, lo que se denomina 'Parte Operativa', formada por un conjunto de dispositivos, maquinas o subprocesos, diseñados para la realización de determinadas funciones de fabricación; de forma específica pueden tratarse de máquinas herramienta para la realización de operaciones de mecanizado más o menos sofisticadas o bien subprocesos dedicados a tareas tales como destilación, fundición etc. Por otro lado, tenemos la Parte de 'Control o Mando', que, independientemente de su implementación tecnológica, es el dispositivo encargado de realizar la coordinación de las distintas operaciones encaminadas a mantener la Parte operativa bajo control [1]. El objetivo del control automático de procesos es mantener en determinado valor de operación las variables del proceso tales como; temperatura, presión flujo etc. [2]. En el diseño de un sistema automático entran en juego las tecnologías de automatización, las prácticas de trabajo y las reglas comerciales que respaldan el diseño y la ingeniería específica (mecánica, química, energía, etc.) [3].

En la Planta Piloto de Bioetanol ubicada en el Instituto Tecnológico de Veracruz se realizan diversos estudios a escala. Con la finalidad de validar los resultados experimentales obtenidos a nivel laboratorio y poder escalarlos a nivel industrial [4]. Los subprocesos que se llevan a cabo para la elaboración de bioetanol se muestran en la figura 1.

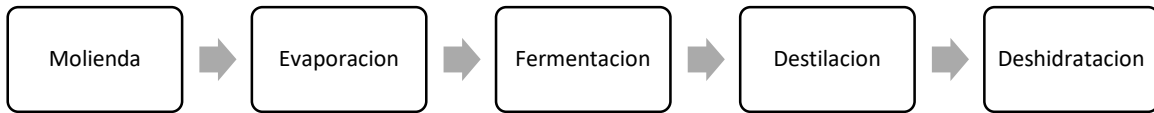


Figura 1. Etapas para la producción de bioetanol

De los subprocesos anteriores este trabajo describe una metodología posible para automatizar la destilación, específicamente las columnas con las que cuenta la planta, las cuales se pueden observar en la figura 2.



Figura 2. Columnas de destilación de la planta piloto del Instituto Tecnológico de Veracruz.

Las columnas de destilación son los equipos que representan el mayor requerimiento energético dentro de la industria química. Por esta razón, es importante mantener condiciones eficientes de operación para reducir costos por consumo de energía, mientras se cumplen con las especificaciones de composición [5]. Las condiciones de operación de una columna pueden ser afectadas por la introducción de perturbaciones. La adecuada respuesta ante estas perturbaciones para establecer las condiciones de operación influye en la rentabilidad y calidad de los productos de los procesos [6].

Con lo mencionado anteriormente se considera importante automatizar la etapa de destilación, para que la pérdida de recursos por una mala operación disminuya considerablemente. Cabe mencionar que este trabajo no considera las perturbaciones en el sistema, pero eso no quiere decir que no existan.

Metodología

La metodología a llevar a cabo en este artículo se muestra en la figura 3.



Figura 3. Metodología

Paso 1. Viabilidad de la automatización

Debe entenderse por viabilidad en este estudio el hecho de poder llevar a cabo una implementación con una cantidad definida de recursos, en donde muy probablemente haya más de una opción optima, pero debe decidirse por aquella que si sea realizable. Como se sabe en todo proceso productivo de bienes o servicios se considera la capacidad de operación de los equipos basado en la demanda, entonces si la demanda no es alta o apenas apreciable, se debe considerar el utilizar el equipo bajo las condiciones normales. Es conveniente para este tipo de implementación considerar los siguientes factores:

- Número de veces que el equipo es operado durante un periodo de tiempo pertinente (1, 2 o 3 meses).
- Cantidad de tiempo que lleva a nuevos usuarios operar el equipo de forma exitosa.
- Cantidad de tiempo que lleva al usuario obtener el producto final desde el suministro de su materia prima.

Partiendo de lo anterior, es necesario decidir si llevar a cabo la automatización justifica el costo total del proceso. Si bien siempre es importante poder controlar los procesos con un nivel avanzado de instrumentación, no significa que sea siempre la mejor opción.

Paso 2. Identificación del sistema

En este también se debe visualizar el estado inicial del sistema, identificar como se operan el o los equipos, el nivel de instrumentación en ese momento (actuadores, sensores, transmisores). Se debe consultar con algún operador las variables involucradas para poder hacer una relación entre cuales son las manipuladas y cuales las controladas, esto permite establecer lazos de control. Un aspecto importante llegado a este punto es consultar a los operadores si existen problemas de funcionamiento, esto para identificar carencia de algún lazo de control.

Una vez identificadas las variables involucradas en el proceso de destilación como pueden ser: temperatura, presión, nivel y flujo se procede a relacionar la variable controlada y manipulada para un correcto control de las mismas. En la figura 3 se presenta un ejemplo de las partes de una columna de destilación binaria.

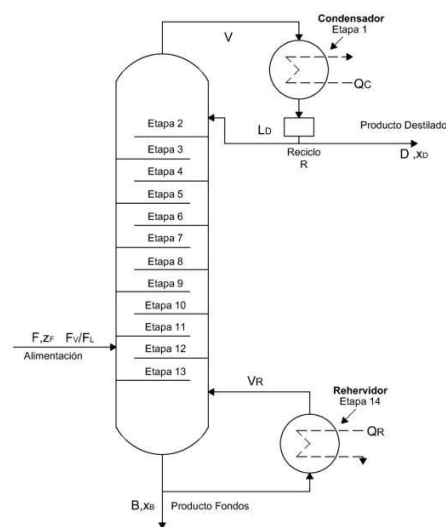


Figura 4. Partes de una columna de destilación binaria [8]

Considerando la Figura 3 algunos puntos clave para el control de la columna son:

- Temperatura de la mezcla en el re-hervidor
- Nivel de la mezcla en el re-hervidor
- Flujo de alimentación y reflujo

Suponga que desea controlar la temperatura de la mezcla en el re-hervidor, para ello requiere manipular el flujo de vapor a través del serpentín (o la potencia en caso de usar resistencia eléctrica), de modo que la variable controlada es la temperatura y la manipulada el flujo de vapor (o potencia eléctrica). En la tabla 1 se muestra un ejemplo de cómo se relacionan algunas variables.

Tabla 1. Ejemplo de relación de variables controladas y manipuladas

Lazo de control	Variable Controlada	Variable Manipulada
Temperatura de la mezcla en el re-hervidor	Temperatura	Flujo de vapor en el serpentín
Nivel del re-hervidor	Nivel	Flujo de alimentación
Flujo de alimentación y reflujo	Flujo	Potencia de la bomba

No obstante, existen variables que se pueden medir, pero no necesariamente se requiere su control, ya que son solo para visualización, por ejemplo: si se desea conocer la temperatura en cualquier plato, habría que implementar sensores en cada uno de ellos. De igual forma sucede con la presión, puede no ser necesario controlarla, pero si saber su valor.

Es de esperarse que cuando se acude a buscar este tipo de metodología se cuente con el equipo en condiciones de operación manual, probablemente a un nivel laboratorio e incluso Planta Piloto, aunque podría utilizarse para mayores escalas. Considerar las variables de proceso va de la mano con el desarrollo del sistema y aquí es oportuno mencionar que las técnicas de control para columnas de destilación son muy diversas, en consecuencia, el interesado debe hacer un análisis de cada una de ellas y ver cuál es la que mejor se adapta al objeto de estudio.

La relación entre las variables no se debe tomar a la ligera, ya que en los procesos el control se logra con la manipulación de otra variable, por ejemplo; para controlar la temperatura de la mezcla en el hervidor de las columnas de la Planta Piloto del Instituto Tecnológico de Veracruz, es necesario manipular el flujo de vapor que suministra una caldera a través del serpentín ubicado entre los puntos rojos como muestra la figura 3.



Figura 5. Hervidor de una columna de destilación de la Planta Piloto.

Otro aspecto importante de este paso es identificar los elementos faltantes, es decir, puede darse el caso que el sistema es parcialmente automatizado o de plano sea completamente manual. Para ello se puede realizar un

presupuesto y presentarlo al personal pertinente. No se debe olvidar que todo aquello que se plantee añadir debe funcionar bajo las condiciones de operación del sistema, entonces es necesario consultar hojas de datos. Es muy importante seleccionar cada uno de los materiales necesarios para instalar cada uno de los dispositivos, ya que esto a futuro podría retrasar considerablemente su implementación.

Paso 3. Requerimientos de operación

Se debe considerar los parámetros que los operadores o interesados consideren para el proceso. El objetivo de este paso es establecer los valores a las variables identificadas en el paso uno. Específicamente en la planta los datos se obtuvieron con estudios previos, realizados por estudiantes de posgrado, esto es muy importante ya que son la base para lograr la mayor concentración de destilado a la salida de las columnas. En la tabla 2 se muestran los parámetros a utilizar para automatizar las columnas de la Planta Piloto de Bioetanol.

Tabla 2. Parámetros de operación para las columnas de destilación de la planta piloto [7].

Parámetros de operación	Columna 1	Columna 2
Flujo de alimentación	50 L/h	20 L/h
Relación de reflujo	1.2	1.0
Tasa de calor	4500W	6000W
Temperatura de operación	97°C	80°C
Flujo del destilado, kg/h	18.147	7.101
Flujo del fondo, kg/h	21.303	8.679

Los datos mostrados con detalle en la tabla 2 facilitan la comprensión de las variables involucradas. Estos parámetros también permiten caracterizar el sistema. Según [7], para obtener estos datos se debe evaluar lo siguiente:

- Plato de alimentación
- Flujo de alimentación
- Relación del reflujo
- Tasa de calor

Cada uno de los parámetros debe operar en función de la concentración del destilado, que finalmente es lo más importante. Es oportuno sugerir un diseño de experimentos para obtener los parámetros óptimos, como por ejemplo:

- Alimentar la columna en diferentes platos
- Probar diferentes flujos de alimentación y reflujo
- Someter la mezcla con diferentes tasas de calor

Contar con los parámetros de operación y la relación de variables, es lo más importante, ya que regirán la lógica de programación a realizar en pasos posteriores.

Paso 4. Representación del sistema

Al llegar a este paso es importante tener definidas tus variables, lazos de control y parámetros de operación. Es importante representar el sistema de forma visual, para este tipo de procesos es recomendable realizar un diagrama de Tuberías e Instrumentación (P&ID), el cual debe ser capaz de describir de forma clara cada una de las etapas del proceso y los elementos que lo componen, tanto a su entrada como a la salida, también debe incluir los actuadores, sensores, transmisores, etc., un ejemplo se muestra en la figura 4.

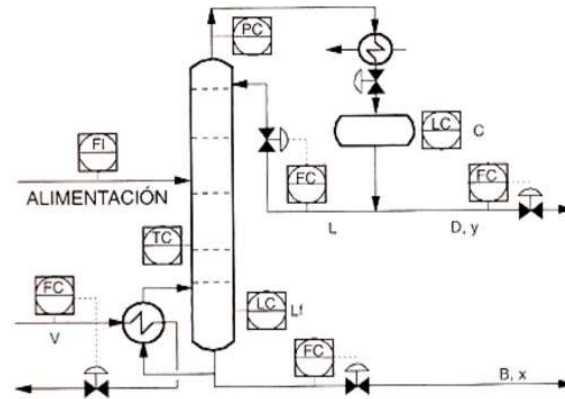


Figura 6. Ejemplo de diagrama P&ID.

Para realizar este tipo de diagramas es necesario contar con toda la información del proceso:

- Numero de platos y el tipo
- Temperaturas de alimentación, destilado, platos etc.
- Presión a la que opera el equipo
- Concentraciones de la mezcla (alimentación, producto de fondo y destilado)

Una vez que se obtienen estos datos se comienza a identificar los sensores que realizarán medidas para unirlos a su respectivo lazo de control. Cabe mencionar que no es obligatorio que cada instrumento de medición cuente con un lazo cerrado, muchos solo se implementan para conocer la magnitud de la variable.

En caso que se desee comparar el nivel de automatización es importante realizar dos o más diagramas, uno que muestre el estado inicial y otro donde se incluya la propuesta adicional de instrumentación basada en los parámetros de operación necesarios para el sistema. En este último debe ser fácil identificar el lugar que ocuparían los elementos considerados como faltantes en el paso anterior, de este modo demostraría su utilidad.

Llegados a este punto siempre puede surgir un tercer diagrama, donde se represente una propuesta de mejora al problema identificado por los operadores, con el objetivo de mejorar a futuro aquella condición para la que los elementos de instrumentación solicitados no pueden controlar. Un claro ejemplo es que las columnas carecen de un control de nivel en el hervidor mostrado en la figura 3 lo que provoca que en ocasiones se inunden los platos.

La importancia de incluir estos diagramas en todo proceso, es facilitar mejoras a futuro, ya que el interesado no perdería tiempo en los datos técnicos. También permite considerar las entradas y salidas con las que debe contar el autómata, lo cual es de ayuda para pasos posteriores cuando se deba elegir un dispositivo específico.

Paso 5. Seleccionar el dispositivo de control

Existen dos formas de automatizar un proceso, la primera es con microcontroladores y la segunda con PLC. Entre ambos dispositivos existen grandes diferencias, la principal es el que el microcontrolador está pensado para escalas pequeñas, mientras que el PLC a nivel industrial. Lo anterior no significa que la mejor opción sea utilizar un PLC siempre es necesario considerar el presupuesto y la complejidad de la automatización. En la tabla 3 se presentan algunas ventajas y desventajas de estos autómatas.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de los dispositivos PLC y microcontroladores.

Dispositivo	Ventajas	Desventajas
PLC	<ul style="list-style-type: none">• Permite una fácil programación al contar con una serie de programas desarrollados por el fabricante.• Múltiples lenguajes de programación• Velocidades altas de procesamiento• Facilidad para agregar módulos en entrada y/o salidas.• Fácil modificación una vez implementado el proceso	<ul style="list-style-type: none">• Costoso• Requiere un tablero de grandes dimensiones• Difícil reparación
Microcontrolador	<ul style="list-style-type: none">• Precio bajo• No requiere un tablero de grandes dimensiones• Se puede cambiar en caso de avería• Velocidades altas de procesamiento	<ul style="list-style-type: none">• Complicado de programar• Difícil modificar una vez implementado el proceso

Existen otros factores que inclinan la decisión del dispositivo a utilizar. En un nivel de educación superior se puede considerar adquirir un dispositivo PLC por las contribuciones a la formación de los alumnos con la premisa de llegar cada vez a un nivel más alto de automatización a futuro, sin embargo, si es un equipo que solo está en laboratorio para el uso de un grupo pequeño, podría considerarse utilizar un microcontrolador. En el caso del sector industrial es común seleccionar un PLC como autómatas ya que tienen el respaldo de empresas prestigiosas líderes en automatización.

Paso 6. Lógica de Programación

Si bien la programación está relacionada directamente con el dispositivo seleccionado en el paso anterior, puede decirse que el resultado esperado en ambos es el mismo, por tanto, su lógica de programación es similar. Para llevar a cabo una correcta programación es importante contar con toda la información mencionada en los pasos anteriores, cada lazo debe estar ligado a una estructura, en la figura 5 se muestran las partes de un lazo de control cerrado, la señal de entrada representa el valor deseado, el elemento de control representa al actuador, el proceso es el sistema en sí y el sensor el encargado de realizar la medición en tiempo real de la variable.

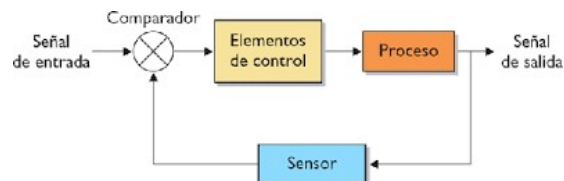


Figura 7. Control de lazo cerrado.

Es un ciclo infinito y en términos de programación funciona de la siguiente manera en ambos dispositivos:

- 1.- Lectura de las entradas, en este caso el sensor
- 2.- Comparación de la lectura con respecto al parámetro requerido.
- 3.- Activación de una salida en función del error generado en la comparación para controlar la variable de interés.

Lo anterior nos ayuda a pensar el orden que debe tener la lógica de programación, lo cual depende directamente del dispositivo seleccionado, en donde el PLC es mucho más visual y versátil en este sentido. Indistintamente del dispositivo seleccionado se debe evitar la repetición de las salidas, es decir, a cada actuador corresponderá una salida para su activación. Esto no significa que no se puedan repetir, pero no es una buena práctica.

Paso 7. Instalación del dispositivo seleccionado

Este punto consiste en realizar la instalación física del dispositivo, para ello se debe consultar la hoja de datos proporcionada por el fabricante, es muy importante seguir cada una de las indicaciones descritas en la ficha

técnica, ya que, en el caso del PLC la garantía solo es válida si el equipo fue manipulado bajo las condiciones correctas.

Un aspecto importante es la ubicación, sin bien la mayoría están diseñados para operar en condiciones extremas, es una buena práctica designar un lugar donde se preserve de mejor manera el dispositivo, así se asegura un mejor funcionamiento. Por su lado el PLC debe colocarse en un gabinete donde solo tenga acceso el personal pertinente, para un microcontrolador también es necesario colocarle una carcasa de protección, ambos con su señalización pertinente y estandarizada sujeta a todas las normas vigentes. En cuanto al cableado, considere utilizar un estándar y ser lo más ordenado posible, para que, en caso de necesitar hacer algún cambio o prueba, pueda identificar fácilmente la falla.

Paso 8. Implementación

La implementación se lleva a cabo cuando los materiales faltantes que se identificaron en los primeros pasos están disponibles. Es importante apearse a normas de instalaciones eléctricas vigentes, utilizar las herramientas correctas y asegurarse que queden correctamente instalados. Considere no operar sino se está seguro que todo se realizó correctamente. Como sugerencia se puede realizar una hoja de procedimientos estándar para proceder al instalar actuadores, sensores o cualquier otro dispositivo, como se hace a nivel industrial.

Una vez que se tienen instalados todos los elementos que conforman el sistema es importante verificar su correcto funcionamiento, de este modo, realizar algún ajuste o calibración. Este punto es importante, en el caso de los sensores a veces pueden estar proporcionando lecturas ciertos grados más altas o bajas, es ahí donde el programador debe hacer los ajustes que considere pertinentes. No siempre el proceso va a funcionar como se espera en un inicio, es por eso que se hacen estas pruebas.

Resultados

Se espera que al llevar a cabo el desarrollo de la metodología anteriormente descrita se pueda automatizar el proceso de destilación de forma satisfactoria para que los alumnos puedan realizar prácticas con mayor facilidad. Por otro lado, también el práctico aprendizaje para la operación del equipo y su arranque.

Aunque no se mencionan pruebas de perturbación en la metodología, se espera que el sistema responda de forma satisfactoria ante alguna, dado su avance significativo de instrumentación y control.

Consideraciones adicionales

A lo largo del trabajo no se hace referencia a las cuestiones de seguridad, es de esperarse que todo se haga bajo las normas pertinentes y vigentes. Un aspecto importante a considerar son los paros de emergencia, estos permiten detener el equipo de forma segura si así se requiere. Esto no significa que sea la única medida que se pueda tomar, también existe la señalización de riesgos, ya sea por temperatura o eléctricos, lo suficientemente visibles para todo el personal.

Trabajo a futuro

En el paso uno de la metodología se logra identificar falta de un control de nivel, por lo que un trabajo posterior a este es el diseño e instrumentación del mismo. Esto con el fin de eliminar uno de los problemas comunes reportados por los operadores.

Es oportuno considerar la unión de subprocesos de la planta para que funcionen de forma continua entre sí, de este modo se conseguiría un nivel más alto de automatización.

Un aspecto no considerado en el estudio que ya se ha mencionado, son las perturbaciones al sistema, sería importante considerar como reaccionaria el subproceso de destilación ante alguna perturbación y de este modo hacer mejoras en los parámetros de operación, para que este se estabilice de forma rápida.

Conclusiones

Una correcta aplicación de la metodología anteriormente descrita permite automatizar las columnas de la planta piloto y de cualquier otro lugar de forma satisfactoria, considerando, además, que en futuro esto generaría resultados tangibles.

Para algunos puede ser un gasto innecesario la automatización, sin embargo, se debe seguir la pauta de mejora continua de los procesos de producción, de esta forma todo el ambiente se vuelve mucho más productivo y eficiente, además que el aprendizaje es de mayor calidad y posibilita la colaboración de otras áreas.

Agradecimientos

El trabajo presentado se realizó bajo la supervisión del Dr. Javier Gómez Rodríguez en colaboración con el Dr. Galo Rafael Urrea García, Dr. Guillermo Efrén Ovando Chacón y el Dr. Abelardo Rodríguez León, a quienes me gustaría expresar mi agradecimiento por haber guiado este trabajo de la mejor forma posible. Además, por valioso tiempo, paciencia y dedicación. También agradezco al CONACYT por el apoyo económico brindado.

Referencias

- [1] E. Garcia-Moreno, "Automatización de procesos industriales", *Universidad Politécnica de Valencia*, vol. 1, pp. 10-11, 1999.
- [2] C.A Smith and A.B Corripio, "Control automático de procesos", Editorial Limusa, vol. 1, pp. 17, 1966.
- [3] J.M Escaño, J.G Caballero and A. Nuevo, "Integración de sistemas de automatización industrial", *Ediciones Paraninfo*, vol. 1, pp. 2, 2019.
- [4] M.G Aguilar. U and N. Montes G, "Planta piloto para la producción de etanol a partir de sorgo dulce", *Boletín de la Sociedad Química de México*, 2016.
- [5] W. L. Luyben, "Distillation: Operations and Applications", *Elsevier*, 2014.
- [6] M. Baldea and D. Prodroinos, "Dynamics and Nonlinear Control of Integrated Process Systems", *Cambridge University Press*, 2012.
- [7] G. Leo. A, "Estudio del proceso de destilación-deshidratación de etanol a partir de sorgo dulce a nivel Planta Piloto", *TECNM/Instituto Tecnológico de Veracruz*, 2019.
- [8] A. Alzate Ibañez, "Modelado y control de una columna de destilación binaria", *Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales Facultad de Ingeniería y Arquitectura*, 2010.

INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA

- IE01 **Nanogeneradores Triboeléctricos basados en Polímeros Reciclados.**
O. Rodríguez Bernal, M.J. Rodríguez, S. Carmona-Téllez, J.C. Tinoco, A. G. Martínez-López. IE-3
- IE02 **Análisis de algoritmos de visión para la detección de aves de corral mediante redes neuronales convolucionales.**
E. A. Cuellar Cortes, L. A. Alvarado Escua, O. O. Sandoval González, J. I Rivalcoba Rivas, A. P. Fuentes García. IE-10
- IE03 **Desarrollo de Plataforma para el Aprendizaje del Lenguaje de Señas Mexicano.**
Guillermo Rey Peñaloza Mendoza, Miguel Ángel García González, Mario Salvador Castro Zenil, Luis Miguel Carreón Silva, Carlos Alberto Trejo Seráfico. IE-20
- IE04 **Sistema de medición de temperatura y humedad con interfaz gráfica embebido en microcontrolador Raspberry Pi.**
C. A. Pérez Santos, A. Martínez Sibaja, J. P. Rodríguez Jarquin, O. O. Sandoval González, M. A. Alamillo Nieto. IE-28
- IE05 **Implementación de Raspberry Pi como bróker para interacción entre dispositivos IoT.**
Anilú Martínez Ramón, Blanca Estela González Sánchez, José Pastor Rodríguez Jarquin, Oscar Osvaldo Sandoval González, Gerardo Aguila Rodríguez, Ignacio Herrera Aguilar. IE-36
- IE06 **Problemas de calidad de eneregía en el hospital ISSSTECALI del sector salud en Mexicali, Baja California, México.**
Adán Alberto Jumilla Corral, Zulma Yadira Medrano Hurtado, Pedro Mayorga Ortiz, Hernán Magaña Almaguer and Mario Alberto Carillo. IE-45
- IE07 **Análisis de la transferencia de calor unidimensional-transitorio en paredes compuestas con diferentes factores de peso.**
C. A. Dios, E. V. Macias Melo, K. M. Aguilar Castro, I. Y. Pérez Olan, R. N. Azcanio. IE-55
- IE08 **Evaluación anual de una chimenea solar de un canal en condiciones de clima cálido-húmedo.**
C. E. Torres-Aguilar, J. Arce, R. Vargas López, E. V. Macias-Melo, K. M. Aguilar-Castro. IE-65
- IE09 **Sistema de monitoreo de crecimiento de microorganismos por métodos no invasivos de tipo capacitivo.**
Alitzel Dayanara Flores Rocha, Carlos Omar González Moran. IE-76
- IE10 **Sistema embebido para el monitoreo y ajuste de parámetros en un proceso de maquinado electroquímico.**
José Félix Segundo Lovera, Everardo Efrén-Granda Gutiérrez, Juan Fernando-García Mejía, José Arturo-Pérez Martínez, Rigoberto Reyes Morales. IE-86
- IE11 **Estudio y análisis de sistema domótico para personas con discapacidad motriz en el Estado de México.**
Mayte Joseline Sandoval Pérez, Carlos Omar González Morán. IE-94
- IE12 **Interfaz gráfica para registro de visita médica**
M. A. García Ramírez, I. Herrera Aguilar, J. J. A. Flores Cuautle, A. León Reyes. IE-105
- IE13 **Emulador Solar Fotovoltaico basado en Modelo Simplificado con Interfaz Inalámbrica.**
Aracely Zapién Castillo, José Ángel Zumaya García, María Andrea Olivo Calles, Brenda Lizeth Reyes García, Pedro Martin García Vite. IE-113

- IE14 **Sensor de tipo óptico para medir inclinación.**
L. G. Granados Salazar, G. Águila Rodríguez, G. Lara Hernández, J. P. Rodríguez Jarquin, J. J. A. Flores Cuautle. IE-123
- IE15 **Interfaz gráfica para un sistema de ablación.**
I. N. Flores Solís, L. C. Caicedo Rosero, C. J. Trujillo Romero, O. O. Sandoval González, J. J. A. Flores Cuautle. IE-130

Nanogeneradores Triboeléctricos basados en Polímeros Reciclados

O. Rodríguez-Bernal¹, M.J. Rodríguez², S. Carmona-Téllez³, J.C. Tinoco^{2,4}, A.G. Martínez-Lopez^{2,4}

¹Doctorado en Materiales y Sistemas Energéticos Renovables, Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, omar.rodriguez@e.unicach.mx,

²Maestría en Ingeniería Aplicada, Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat, Universidad Veracruzana, zs20022531@estudiante.uv.mx, ³CONACYT-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Posgrado en Física Aplicada, Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, scarmonat@fcfm.buap.mx, ⁴Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología, Universidad Veracruzana, jutinoco@uv.mx, andmartinez@uv.mx

Área de participación: Ingeniería Eléctrica y Electrónica (energías renovables)

Resumen

Los dispositivos "Energy Harvesting" recolectan la energía circulante del medio ambiente permitiendo su conversión en energía eléctrica. Un tipo particular de estos dispositivos son los nanogeneradores triboeléctricos (TENG). Dicha tecnología es una opción prometedora para alimentar dispositivos móviles de bajo consumo de potencia, evitando el uso de baterías. En este trabajo se presenta la obtención de TENG-flexibles basados en películas de polímeros reciclados: PS (Poliestireno) y PMMA (Polimetilmetacrilato) los cuales fueron depositados por la técnica de spin coating. De esta forma se busca contar con una tecnología madura y sencilla para la obtención de dispositivos reciclables, amigables con el medio ambiente, con respuesta eléctrica favorable, de bajo costo y con posibles aplicaciones en el ámbito de Large Area Electronics y Green Electronics.

Palabras clave: Energy Harvesting, TENG, nanogeneradores, Poliestireno, Polimetilmetacrilato.

Abstract

The energy harvesting devices collect energy from the environment with the aim to convert it in electrical energy. One kind of those devices is the triboelectric nanogenerators (TENG). Such technology is a promising option to feed low power mobile systems, avoiding the use of batteries. In this work, it is presented the obtaining of flexible TENG based on spin-coated thin films of recycled polymers: PS (polystyrene) and PMMA (Poly-methyl methacrylate). Therefore, it is possible to develop a technology mature and simple for obtaining recyclable devices, environmentally friendly, with good electrical behavior at low-cost and with potential applications for Large Area Electronics as well as Green Electronics.

Key words: Energy Harvesting, TENG, Nanogenerators, Polystyrene, Poly-methyl methacrylate.

Introducción

Recientemente se ha observado un crecimiento acelerado en la fabricación de electrónica de pequeños dispositivos tales como relojes inteligentes, zapatos y fibras textiles inteligentes, dispositivos médicos portátiles, diversos tipos de sensores para sistemas de internet de las cosas (IoT Internet-of-Things), entre otros. Estos sistemas requieren de una fuente de energía eléctrica constante, pero a su vez independiente del uso de baterías externas, a fin de evitar su continuo reemplazo y/o recarga. En los últimos años se han dedicado muchos esfuerzos para implementar tecnologías para la generación de energía eléctrica que pueda ser independiente, limpia, sustentable, y con utilidad en sistemas electrónicos de bajo consumo de potencia. Dentro de estos esfuerzos, se encuentra el desarrollo de dispositivos con la capacidad de captar la energía presente en el medio ambiente y transformarla en energía eléctrica, de forma que se pueda aprovechar para alimentar a sistemas

electrónicos. Estas tecnologías se conocen como recolectores de energía o “Energy Harvesting”. Un tipo de dispositivos de recolección de energía son los nanogeneradores, los cuales pueden aprovechar la energía existente en el ambiente de diversos tipos tales como mecánica, electromagnética, térmica, entre otras, y transformarla a energía eléctrica a través de dispositivos de tipo piezoeléctrico, triboeléctrico, electrotérmicos, electroópticos, entre otros [1]. En particular, los dispositivos triboeléctricos (TENG: Triboelectric Nanogenerator) producen energía eléctrica debido al contacto de dos materiales diferentes, dichos materiales deben tener cargas eléctricas opuestas [2]. En los últimos años, los TENG se han desarrollado mediante el uso de diversos materiales tales como: desechos plásticos y electrónicos (e-waste) [3], microfibras de celulosa nativa [4], fibras de tela [5], óxidos semiconductores [6], materiales biocompatibles [7], polímeros reciclados [8], entre otros. Los nanogeneradores triboeléctricos pueden operar en cuatro modos diferentes: 1) El modo de contacto-separación vertical, 2) Modo deslizante lateral, 3) Modo de electrodo único, 4) Modo de capa triboeléctrica independiente [9]. Un aspecto importante a señalar es que la aplicación práctica de TENG no se limita a un solo modo, sino que se puede utilizar de manera híbrida para aprovechar las ventajas de cada uno [2]. El modo de operación de contacto-separación vertical se presenta cuando dos películas dieléctricas diferentes chocan entre sí creando cargas opuestas en las superficies, cuando estas se separan, se produce una pequeña diferencia de potencial [1]. Los TENG han sido explorados con diferentes materiales y estructuras, por otro lado, se han combinado con diferentes dispositivos de conversión de energía para aplicaciones específicas [10].

En este trabajo, se reporta el uso de Poliestireno (PS) y el Polimetilmetacrilato (PMMA) para la obtención de películas triboeléctricas flexibles y transparentes y su aplicación en dispositivos TENGs. Se demuestra la generación de energía eléctrica, logrando señales con picos de voltaje de entre 50 y 250 mV. Este es un paso en el proceso para la fabricación futura de dispositivos generadores sencillos, de bajo costo y fácilmente escalables, usando polímeros reciclables.

Metodología

Materiales

Se utilizaron N, N-Dimetilformamida anhídrido, DMF, (99.8%, Sigma Aldrich) y Acetona (ACS, Sigma Aldrich) como disolventes. Para la obtención de los polímeros se recicló un recipiente de poliestireno (PS) y una barra de polimetilmetacrilato (PMMA).

Preparación de los polímeros

La preparación de los polímeros reciclados se realizó de acuerdo con lo reportado en las referencias [11] y [12]. Para la preparación de PS, se realizó una solución con 40 ml de acetona y 20 ml de DMF y se mantuvo en agitación vigorosa por 10 minutos. Posteriormente, se agregó lentamente 0.5 g de PS reciclado y se mantuvo la agitación por 30 minutos.

Para la preparación de PMMA, se realizó una solución con 39.5 ml de DMF y 17 ml de acetona y se mantuvo en agitación vigorosa por 10 minutos. Posteriormente se agregaron 0.9 g de PMMA y se aumentó la agitación por 3 horas.

Película Triboeléctrica

Los polímeros reciclados preparados previamente se depositaron sobre sustratos flexibles de PET/ITO utilizando la técnica de spin coating, (spin coater modelo WS-650MZ-23NPP, Laurell Technologies Corp.), y se realizaron los depósitos a las velocidades de giro mostradas en la tabla 1. Todas las películas se secaron a 150°C en una placa de calentamiento durante 750 segundos.

Resultados y discusión

Primeros resultados

Se lograron obtener películas delgadas de PS y PMMA por medio de la técnica de spin coating sobre sustratos de PET/ITO. Se ha reportado en la literatura que a medida que aumenta la velocidad de giro disminuye el espesor de las películas depositadas [12]. En la figura 1 se muestra una fotografía del resultado de un depósito de PMMA. Ópticamente las muestras presentan alta transparencia y se observa un buen recubrimiento del sustrato.

Tabla 1. Parámetros de depósito de películas depositadas por la técnica de Spin coating.

MUESTRA	ETIQUETA	Velocidad (RPM*)	TIEMPO DE DEPÓSITO (s)
PMMA	PM500	500	150
	PM1000	1000	150
	PM1500	1500	150
	PM2000	2000	150
PS	PS1500	1500	60
	PS2000	2000	60
	PS2500	2500	60
	PS3000	3000	60

* Revoluciones por minuto



Figura 1. Película polimérica de PMMA obtenida por la técnica de spin coating.

Segundos resultados

Para medir la respuesta de las películas triboeléctricas se conectaron cables de cobre a las muestras por medio de pasta conductora de carbono. Los electrodos de cobre se conectaron a su vez a las puntas de un osciloscopio B&K Precision modelo 2190E, para monitorear y registrar el voltaje generado. Se estableció la disposición de las películas para promover el modo de operación contacto-separación vertical de los nanogeneradores triboeléctricos descrito en [2]. En la figura 2 se muestra una fotografía del sistema utilizado para la medición de las muestras. Se realizó un conjunto de pruebas usando cada muestra de PMMA sobre las diferentes capas de PS y realizando impactos secuenciales para registrar la amplitud del voltaje obtenido.

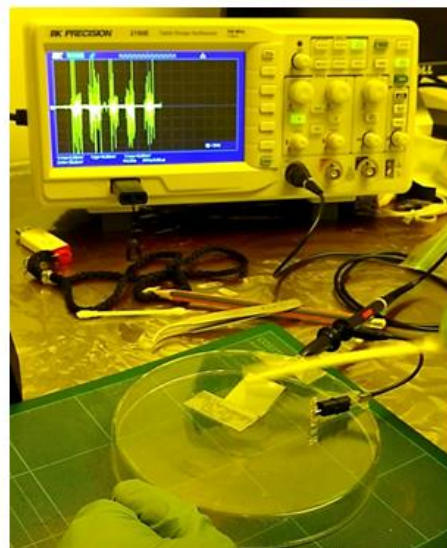


Figura 2. Fotografía del sistema de medición utilizado.

PM500

En esta serie de experimentos se acopló la película PM500 con las muestras PS1500, PS2000, PS2500 y PS3000, la Figura 3 muestra las señales de voltaje obtenidas. Se puede observar que la combinación con las películas obtenidas con las menores velocidades de depósito (PS1500 y PMMA500), produce una baja amplitud de voltaje con picos del orden de 50 mV. Al reducir el espesor de la película de PS, se observan picos con mayor amplitud, logrando hasta aproximadamente 150 mV con el uso de la película PS3000. Sin embargo, como puede observarse, las muestras PS2500 y PS3000 producen mayor variación en las amplitudes de los picos. Por el contrario, el uso de la película PS2000 muestra picos más homogéneos en amplitud con valores de aproximadamente 100 mV.

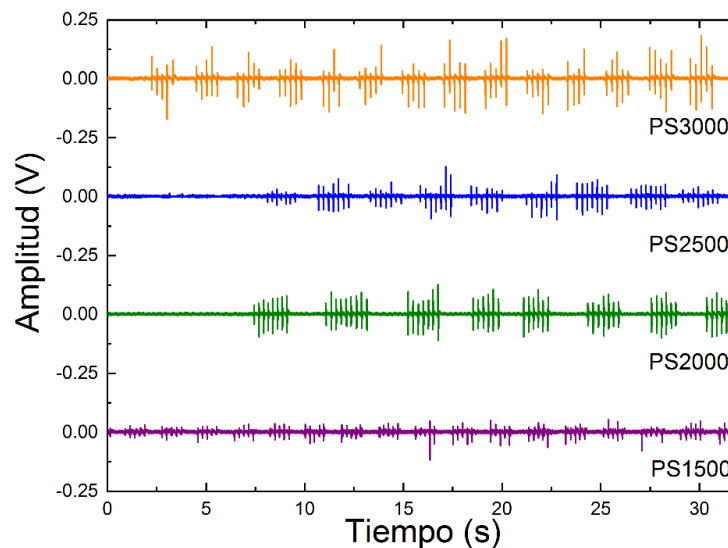


Figura 3. Respuestas de salida de voltaje de las pruebas de impacto realizadas entre el acoplamiento de la película PM500 y la serie PS1500-PS3000.

PM1000

El acoplamiento de la película PM1000 con las muestras de PS da como resultado respuestas más definidas y con mayor densidad de picos, como se muestra en la Figura 4. La combinación con la muestra PS1500 produce respuestas de voltaje con poca variación entre picos sucesivos de alrededor de 100 mV. Las muestras PS2000 y PS2500 presentan una importante variación en la amplitud de los picos con voltajes de ~50 mV y algunos picos que alcanzan amplitudes mayores a los 150 mV. La muestra PS3000 presenta la menor generación de la serie, dado que presenta menor densidad de picos y con amplitudes menores a los 50 mV, y algunos picos aislados con amplitudes del orden de 100 mV.

PM1500

En el acoplamiento de la película PM1500 entre las diferentes muestras de PS muestra una mayor generación de voltaje comparada con las series anteriores, como se observa en la Figura 5. Las muestras PS1500 y PS2500 presentan mayor densidad de picos y con amplitudes de hasta 250 mV. Para la muestra PS2000 se observa una mayor cantidad de picos sucesivos de voltaje de 250 mV. El uso de capas más delgadas produce menor respuesta pues los picos de voltaje se reducen a valores menores a 100 mV.

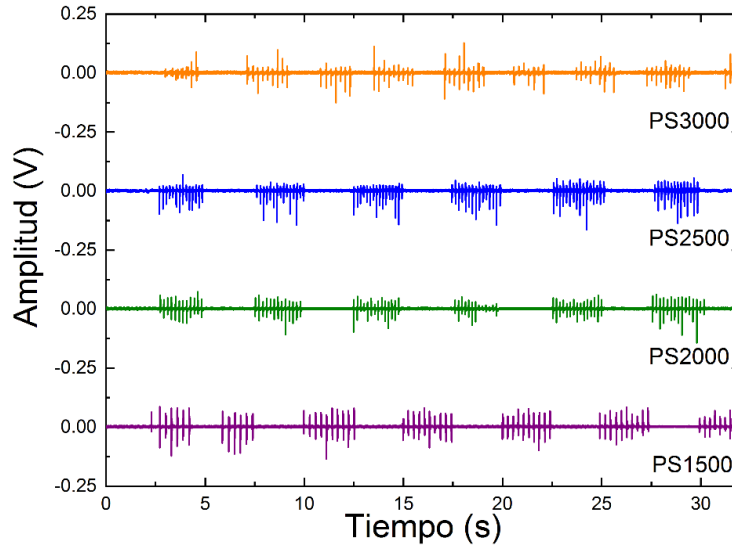


Figura 4. Respuestas de salida de voltaje de las pruebas de impacto realizadas entre el acoplamiento de la película PM1000 y la serie PS1500-PS3000.

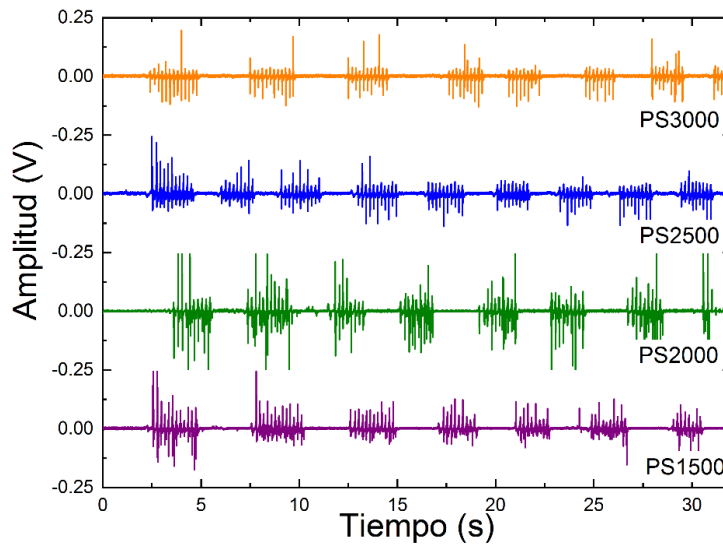


Figura 5. Respuestas de salida de voltaje de las pruebas de impacto realizadas entre el acoplamiento de la película PM1500 y la serie PS1500-PS3000.

PM2000

En el acoplamiento de la película PM2000 con las muestras de PS, muestra mayor dispersión en la amplitud de los picos, como se muestra en la Figura 6. En general se observa una gran cantidad de picos de baja amplitud y algunos picos de voltaje de hasta 250 mV.

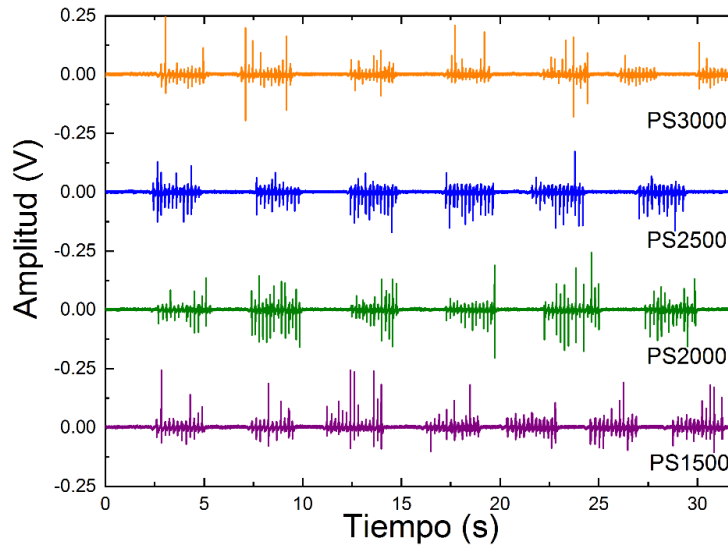


Figura 6. Respuestas de salida de voltaje de las pruebas de impacto realizadas entre el acoplamiento de la película PM2000 y la serie PS1500-PS3000.

Trabajo a futuro

Los resultados observados, demuestran que las capas de PMMA y PS presentan efecto triboeléctrico. Por ello, se puede utilizar la metodología descrita en el presente trabajo para la obtención de capas triboeléctricas y su implementación tecnológica, abriendo la oportunidad para diseñar y fabricar dispositivos TENGs flexibles y de bajo costo que permitan aprovechar fuentes de energía mecánica, ya sea por vibraciones o impacto, y su conversión a energía eléctrica para aplicaciones específicas.

Conclusiones

En el presente trabajo se demostró la posibilidad de utilizar polímeros reciclados para obtener películas funcionales con aplicación en nanogeneradores triboeléctricos. Se llevaron a cabo una serie de experimentos intercalando películas de PMMA y PS y aplicando una serie de impactos se logró observar las respuestas de voltaje, además se pudo observar que todas las películas procesadas generaron respuesta eléctrica. Este trabajo forma parte de los esfuerzos que se están llevando a cabo actualmente en la búsqueda de fuentes novedosas de energía, atendiendo a la necesidad de alimentar las nuevas generaciones de dispositivos electrónicos de baja potencia con un enfoque en Green Electronics y Large Area Electronics.

Agradecimientos

O. Rodríguez Bernal y M. J. Rodríguez agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por las becas otorgadas dentro del Programa Becas Nacionales para Estudios de Posgrado. S. Carmona agradece al CONACyT por el apoyo recibido a través del Programa de Investigadoras e investigadores por México (antes Cátedras CONACyT).

Referencias

- [1] C. Zhang y Z. Wang, "Triboelectric Nanogenerators", *Micro Electro Mechanical Systems*, vol. 2, pp. 1-42, 2017.
- [2] C. Wu, A. C. Wang, W. Ding, H. Guo y Z. L. Wang, "Triboelectric Nanogenerator: A Foundation of the Energy for the new era", *Advance Energy Materials*, vol. 9, pp. 1-25, 2018.
- [3] M. U. Bukhari, A. Khan, K. Q. Maqbool, A. Arshad, K. Riaz y A. Bermak, "Waste to energy: Facile, low-cost and environment-friendly triboelectric nanogeneratos using recycled plastic and electronic wastes for self-powered portable electronics", *Energy Reports*, vol. 8, pp. 1687-1695, 2022.
- [4] M. M. Alam y D. Mandal, "Native Cellulose microfiber based hybrid piezoelectric generator for mechanical energy harvesting utility", *ACS Applied materials & interfaces*, vol. 8, no. 3, pp. 1555-1558, 2016.
- [5] K. Dong, X. Peng y Z. L. Wang, "Fiber/Fabric-Based piezoelectric and triboelectric nanogenerator for flexible/stretchable and wearable electronics and artificial intelligence", *Advance Materials*, pp. 1-43, 2019.
- [6] H. H. Singh y N. Khare, "Flexible ZnO-PVDF/PTFE Based Piezo-Tribo Hybrid Nanogenerator", *Nano Energy*, vol. 51, pp. 216-22, 2018.
- [7] D. Yu, Z. Zheng, J. Liu, H. Xiao, G. Huangfu y Y. Guo, "Superflexible and lead-free piezoelectric nanogenerator as a highly sensitive self-powered sensor for human motion monitoring", *Nano-micro letters*, vol. 13, no. 117, p. 12, 2021.
- [8] X. Li, Y. Peng, Y. Deng, F. Ye, C. Zhang, X. Hu, Y. Liu y D. Zhang, "Recycling and reutilizing polymer waste via electrospun Micro/nanofibers: A Review", *Nanomaterials*, vol. 12, no. 10 pp. 1663, 2022.
- [9] S. Khalid , I. Raouf, A. Khan, N. Kim y H. S. Kim, "A review of Human-powered energy harvesting for Smart electronics: Recent Progress Challenges", *International journal of precision engineering and manufacturing-green technology*, vol. 6, pp. 821-851, 2019.
- [10] J. Wan, H. Wang, L. Miao, X. Chen, Y. Song, H. Guo, C. Xu, Z. Ren, H. Zhang, "A flexible hybridized electromagnetic-triboelectric nanogenerator and its application for 3D trajectory sensing", *Nano Energy*, vol.74, no. 104878, pp.110, 2020.
- [11] A. Carro-Gastélum, S. Carmona-Téllez, S. Loera-Serna, L. Mariscal-Becerra, H. Murrieta S. y G. Alarcón-Flores, C. Falcony "Upconversion properties of Gb-based ceramics, attached into polystyrene films", *Journal of the Australian Ceramic Society*, vol 57, pp. 21–27, 2021.
- [12] K. J. Martínez Ávila, T. S. Carmona, J. U. Balderas Aguilar, M. R. Martínez, L. Mariscal Becerra y C. Falcony Guajardo, "Luminiscent polymethyl methacrylate composite films activated under infrared radiation, useful for engineering applications", *Photonics for Energy*, vol. 8, no. 1, pp. 014001, 2018.

Análisis de algoritmos de visión para la detección de aves de corral mediante redes neuronales convolucionales

E. A. Cuellar Cortes*¹, L. A. Alvarado Escua¹, O. O. Sandoval González¹,
J.I Rivalcoba Rivas², A.P. Fuentes García¹

¹Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Orizaba, Oriente 9 No.852,
Col. Emiliano Zapata, CP.94300, Orizaba, Veracruz, México.

* enrique.cc@orizaba.tecnm.mx

²Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Gustavo A. Madero, Calle 608 No. 300 y Av. 412, Col. San Juan de Aragón, Alcaldía. Gustavo A. Madero, C.P. 07470, México, CDMX

Área de participación: Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Resumen

En el presente trabajo se analizan tres algoritmos para la detección de objetos mediante redes neuronales, como lo son YOLOv5, Faster R-CNN y Mask R-CNN; se plantea la estructura de cada uno de estos algoritmos y la evolución que han tenido en los últimos años; para las pruebas se trabajó con un conjunto de datos propio (*dataset*), el cual consiste de 200 imágenes de aves de corral que fueron etiquetadas con el software VIA, posteriormente se realizó una comparación de los resultados de su precisión, basándonos en las métricas AP de COCO.

Palabras clave: YOLO; Faster R-CNN; Mask-RCNN; Visión Artificial.

Abstract

In the present work, three algorithms for the detection of objects through neural networks were analyzed, such as YOLOv5, Faster R-CNN and Mask R-CNN; the structure of each of these algorithms and the evolution they have had in recent years are considered; For the tests, we worked with our *dataset*, which consists of 200 images of poultry that were labeled with the VIA software, later a comparison of the results of their precision was made, based on the AP metrics of COCO.

Key words: YOLO; Faster R-CNN; Mask-RCNN; Artificial vision.

Introducción

La detección de objetos utilizando visión artificial ha tenido un avance significativo gracias a las técnicas introducidas por el campo de la inteligencia artificial en los últimos años [1] todo ello propiciado principalmente por el reciente auge de las redes neuronales, las mejoras en hardware y del desarrollo de nuevos algoritmos de visión artificial.

En 2014 comienza la época de mayor crecimiento en la detección de objetos con la presentación del primer algoritmo de R-CNN [2], anteriormente al uso de redes neuronales se había experimentado con algoritmos y modelos de detección de objetos para ciertas tareas en específico, se tiene por ejemplo el algoritmo Viola-Jones [3] publicado en 2001 que servía para la detección de rostros humanos, esto lo lograba con la extracción de las principales características de la imagen (llamada imagen integral), posteriormente un clasificador AdaBoost [4] y la combinación de clasificadores en cascada; un método también bastante conocido antes de la era *Deep Learning* fue el histograma de gradientes orientados (HOG) [5] propuesto en 2005 y cuyo principal uso fue para los automóviles autónomos debido a que lograba la detección de peatones en video, en este algoritmo se extraían en sus bloques las principales características y posteriormente estos datos eran usados en *support vector machines* (SVM) para determinar si había o no peatones; aunque se debe aclarar que debido a las propias limitaciones de los algoritmos, su uso específicos y las limitaciones tecnológicas de la época, estos algoritmos fueron gradualmente reemplazados por los algoritmos de detección de imágenes basados en redes neuronales profundas como lo son R-CNN [2], Fast R-CNN [6], Faster R-CNN [7], Mask R-CNN [8] o YOLO [9].

Metodología

A continuación, se presenta una descripción de los algoritmos de detección de objetos basados en redes neuronales profundas.

R-CNN

El modelo de *Region-based Convolutional Network* (R-CNN) consiste en uno de los principales algoritmos precursores para la detección de objetos; este método como puede verse en la Figura 1 consiste principalmente en 4 etapas, siendo la primera en la que se tiene una imagen de entrada, la segunda etapa consiste en la extracción de alrededor de 2000 regiones de la imagen de entrada para etiquetar sus clases y los cuadros delimitadores (*Bouding Box*), para la tercera etapa estas regiones son usadas en una red neuronal convolucional (CNN) y finalmente en la cuarta etapa las características obtenidas se clasifican en varios SVM lineales donde cada SVM determina si se tiene una clase específica en la región y se pueda llevar a cabo la detección de una clase. El principal problema que se tiene con este método es el entrenamiento para cada imagen, ya que al tener que clasificar aproximadamente 2000 propuestas de región por imagen se tiene una detección bastante lenta; al ser un algoritmo fijo no se tiene ningún método de aprendizaje de este por lo que las propuestas de regiones pueden tener una inexactitud considerable.

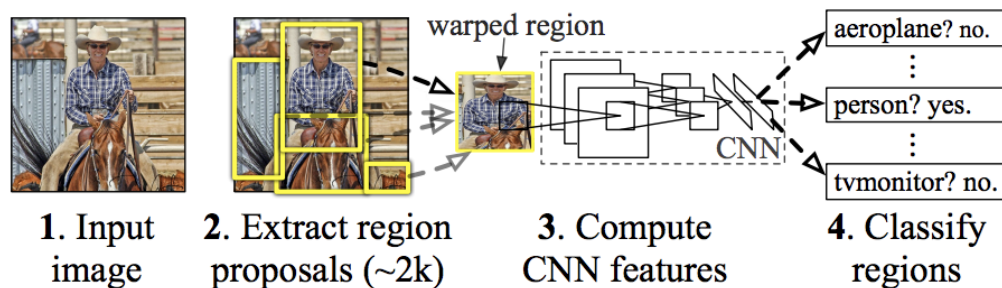


Figura 1. Arquitectura de R-CNN [2]

Fast R-CNN

El algoritmo Fast R-CNN logra resolver algunos inconvenientes que se tenía con R-CNN permitiendo tener una mayor velocidad tanto en entrenamiento y pruebas, así como aumentar la precisión en la detección; este aumento de velocidad se debe a que a diferencia de un R-CNN no se deben enviar propuestas de 2000 regiones sino que como se observa en la Figura 2 toma por entrada una imagen completa y se genera un mapa de características a partir de ella, dentro de este mapa se van identificando las propuestas y transformando en cuadrados, para ser redimensionadas a un tamaño fijo mediante una capa agrupación de la región de interés (ROI) para que pueda ser usada en una capa que estará conectada, se utiliza una capa llamada *softmax* para predecir la clase de región propuesta y los valores de desplazamiento del cuadro delimitador (*Bouding Box*). Este algoritmo, aunque mejora la velocidad con respecto a R-CNN aún sigue basándose en búsquedas selectivas para encontrar las propuesta regiones, por lo que aún es un método bastante lento que llega a ocasionar el uso de regiones inexactas y propiciando por lo mismo menos precisión.

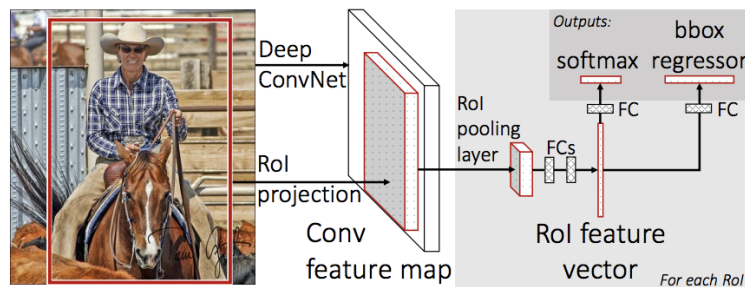


Figura 2. Arquitectura de Fast R-CNN [6]

Faster R-CNN

El algoritmo Faster R-CNN a diferencia de R-CNN y Fast R-CNN no utiliza la búsqueda selectiva para las propuestas de región, en cambio como se observa en la Figura 3 se implementa una red convolucional llamada red de propuesta de región (RPN) que permite que la red vaya aprendiendo y obtenga una mayor velocidad y precisión. El algoritmo está compuesto de dos redes siendo primero una red RPN y el segundo una red de detección de objetos (Fast R-CNN); la única diferencia que se tiene es que en lugar del uso de un algoritmo para identificar las propuestas de región, se usa un RPN para las propuestas de región, esta red aprende a generar propuestas de regiones de alta calidad que se usan para mantener la precisión en la detección de los objetos; las propuestas de región son usadas en una capa ROI que se usa para su detección con base a su clase y determinar su cuadro delimitador (Bouding Box).

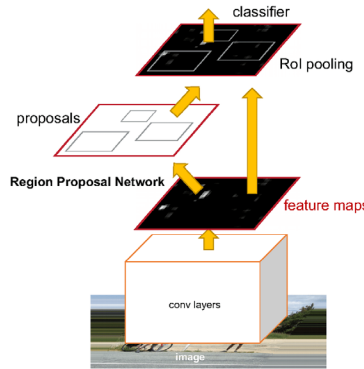


Figura 3. Arquitectura de Faster R-CNN [7]

Mask R-CNN

El algoritmo Mask R-CNN se crea partiendo de Faster R-CNN, Faster R-CNN tiene 2 salidas (una etiqueta de clases y un cuadro delimitador), Mask R-CNN como puede verse en la Figura 4 pone una adición de una salida que genera la máscara de objeto, para la implementación de este método se agrega después de la agrupación ROI dos redes convolucionales para construir la máscara, además gracias a esto se consigue mejorar la agrupación ROI, en Mask R-CNN se usa ROI Align que logra alinear correctamente las características extraídas con la entrada, con lo que se predice además del cuadro delimitador (Bouding Box), la clase y la posición a nivel pixel del objeto.

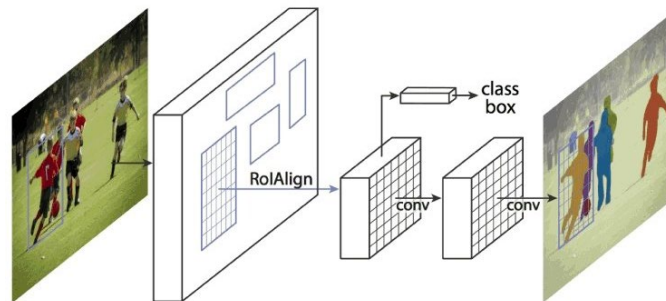


Figura 4. Arquitectura de Mask R-CNN [8]

You Only Look Once (YOLO)

YOLO es un algoritmo de detección de objetos propuesto originalmente en 2015 por Joseph Redmon, mientras R-CNN y sus variantes utilizan regiones para localizar y clasificar objetos, YOLO como se observa en la Figura 5 consiste en dividir la imagen de entrada en una cuadrícula de $S \times S$ donde dentro de cada cuadrícula ubica N números de cuadros delimitadores (Bouding Box), cada uno de los cuadros delimitadores se usan para predecir el tipo de clase y su correspondiente compensación en los valores, los valores que se obtienen reflejan la confianza en ubicar el objeto dentro de la imagen y en la precisión de la detección, se eliminan los cuadros delimitadores que estén por debajo del límite establecido y se aplica el llamado non-max suppression que sirve para eliminar objetos detectados por duplicados y así dejar el más exacto de todos.

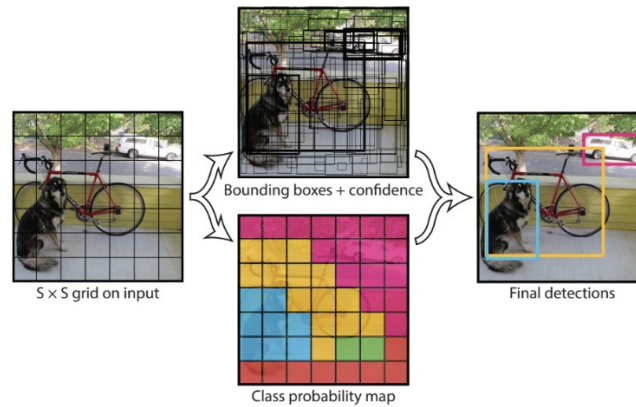


Figura 5. Pasos de YOLO [9]

YOLO ha tenido diferentes versiones que han ido aportando mejoras significativas, Joseph Redmond (el principal autor de YOLO) trabajó en las versiones de YOLOv2[10] que salió en 2016 y YOLOv3[11] del año 2018, aportando mejoras como lo son funcionar en las detecciones de objetos de menor tamaño, una mejora en el mAP (Mean Average Precision) y el uso de Darknet-19 para YOLOv2 y de Darknet-53 para YOLOv3 como su red principal (Backbone Network). Fue en el año 2020 cuando se publica la versión de YOLOv4 [12] en esta ocasión con Alexey Bochkovskiy como su autor principal, esta versión la red principal consiste en CSPDarknet53, con esta versión se mejora el entrenamiento para usarse con GPU y se agregan dos nuevos términos llamados Bag of Freebies (BoF) que sirve para mejorar el rendimiento de la red, con técnicas de aumento de los datos y Bag of Specials (BoS) que sirve para aumentar la precisión. YOLOv5[13] representa una versión bastante controversial entre la comunidad de visión por computadora, principalmente se debe a que con diferencia entre las versiones previas de YOLO no implementa nuevas arquitecturas o técnicas para mejorar las versiones previas de YOLO, sino que por el contrario esta versión está escrita en Pytorch/Python contrario a las versiones v1-v4 que están desarrolladas en Darknet, pero el que este escrita en Pytorch logra hacer que sea una versión más accesible y compatible al tener la posibilidad de aplicar Datasets personalizados desde PyTorchHub y aplicando el modelo directamente sobre la imagen; es precisamente esta versión de YOLO la que se evaluara en el presente artículo.

Conjunto de datos (Dataset)

Un *dataset* es una colección de datos tabulados que pueden ser tratados como una unidad para fines de predicción o análisis [14]. Para el desarrollo del presente proyecto se realizó la creación de un *dataset* personalizado, el cual sirvió para comparar el rendimiento entre los algoritmos de detección de objetos presentados en párrafos anteriores (Mask R-CNN, Faster R-CNN y YOLOv5).

La creación del *dataset* consistió principalmente en 4 etapas las cuales fueron:

1. Toma de fotografías: Se tomaron fotografías a unas aves de corral con una cámara *Logitech HD Pro c920* a una resolución de 1920 x 1080 píxeles como se observa en la Figura 6, se seleccionaron de estas fotografías las 200 mejores que se tenían, fueron separadas en dos principales conjuntos llamados entrenamiento (train) que contenía 160 imágenes y validación (val) que tenía 40 imágenes, obteniendo una relación 80-20. También se tomaron 10 que serán utilizadas para la verificación (testing).



Figura 6. Toma de fotografías para el dataset

2. Etiquetado de imágenes: Para el etiquetado de imágenes se utilizó el software VIA (VGG Image Annotator) [15] el cual es un software de código abierto que funciona por medio de HTML y que brinda un etiquetado de forma sencilla y rápida, el etiquetado por la forma que tendría nuestro objetivo a detectar (aves de corral) se etiquetó usando la técnica de polígonos véase Figura 7.



Figura 7. Etiquetado de las imágenes usando VIA

3. Redimensionar las imágenes: Aunque no es un paso estrictamente necesario, para evitar tiempos de entrenamiento bastante largos y posibles fallas, se decidió redimensionar las imágenes de 1920×1080 a una dimensión de 512×512 píxeles (el etiquetado también se ajustó a las dimensiones de la imagen).

Exportar a diferentes formatos: Para que la toma de imágenes pueda ser procesada es necesario el exportar a las versiones que requiere el algoritmo, para el caso de Mask R-CNN y Faster R-CNN fueron formatos JSON y para el caso de YOLOv5 fueron en formato TXT y YAML.

Hardware

Las pruebas en los diferentes algoritmos de detección fueron usadas en una PC que contaba con las siguientes características que se nombran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características del PC utilizado para las pruebas en los algoritmos.

Tipo de componente	Modelo
Procesador	Procesador Intel Core i5-10400F
Memoria RAM	16 GB DDR4-2660 modo Dual
GPU	Nvidia GeForce GTX 1650

Resultados

Para la comprobación de los resultados en cada uno de los algoritmos se analizara de acuerdo a su presión media ponderada (mAP – Mean Average Precision) [16] el cual es una métrica que sirve para determinar qué tan preciso es en la detección de objetos, entre mayor sea la puntuación más precisas se vuelven las detecciones, para calcular el mAP es importante considerar la intersección sobre la unión (IoU - Intersection over Union) el cual en palabras simples IoU es una métrica de evaluación utilizada para medir la precisión de un detector de objetos en un conjunto de datos en particular ,IoU determina que tan acertado es el cuadro predicho en el modelo con el cuadro hecho en el etiquetado, este da valores entre 0 y 1, para obtener el mAP lo que se hace es ir variando entre los diferentes valores de IoU, COCO[17] proporciona algunas métricas para el cálculo del mAP (COCO no hace distinción entre mAP y AP) de las cuales se utilizaran en el análisis de los resultados las siguientes:

- AP: AP en IoU= 0.50: 0.05: 0.95 donde a partir de IoU con valor de 0.5 se va aumentando en 0.05 cada umbral para dar un total de 10 diferentes mediciones de umbral que son promediadas
- AP IoU=0.5 aquí solamente se considera un umbral de IoU igual a 0.5

Resultados obtenidos con Faster R-CNN

Faster R-CNN logro buenos resultados en la detección con el *dataset* proporcionado, como se puede observar en las gráficas de la Figura 8, se obtiene una precisión bastante buena teniendo valores en su AP mayores a 90 tanto en IoU de 0.5 (llegando casi al 99) y en IoU 0.50: 0.95 (siendo 91) , las gráficas muestran un avance en especial en su AP general y aunque decrece un poco cuando se evalúa su AP en un IoU de 0.5 , realmente su caída es de apenas decimas y mantiene un grado de precisión muy bueno.

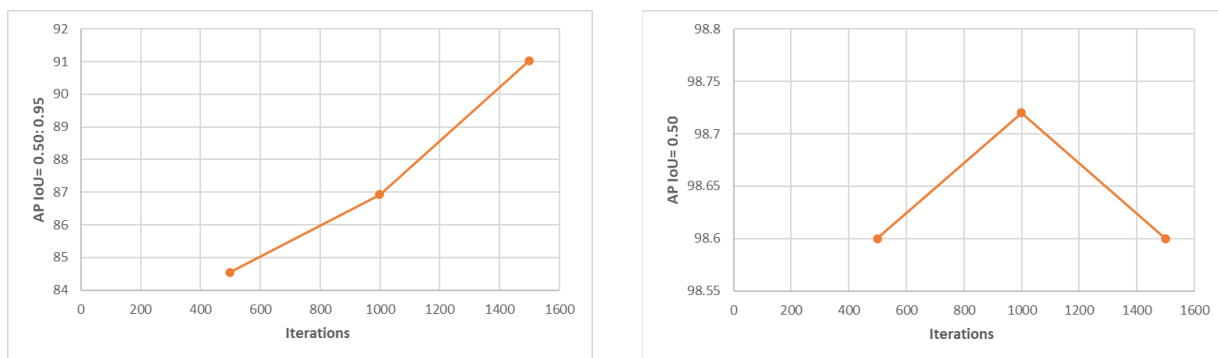


Figura 8. Gráficas que muestra la evolución de la precisión en AP IoU= 0.50: 0.95 (izquierda) y AP IoU= 0.50 (derecha) con el algoritmo Faster R-CNN

Tabla 2. Resultados de la precisión obtenidos con el algoritmo Faster R-CNN y el *dataset* personalizado

Parámetro	Valor
AP IoU= 0.50: 0.95	91.037
AP IoU= 0.50	98.6
Recall	94.4

El testeo de Faster R-CNN se aplicó a imágenes en su resolución nativa (1920 × 1080 píxeles) y que no tuvieran un etiquetado, el resultado se puede apreciar en la Figura 9.



Figura 9. Detección de imagen usando Faster R-CNN con el *dataset* personalizado

Resultados obtenidos con Mask R-CNN

Mask R-CNN mantiene valores en precisión bastante buenos , aunque son un poco más bajos en comparación a Faster R-CNN , en la detección de IoU de 0.5 llega a tener valores de 98.25 y en la precisión con IoU 0.50: 0.9 llega a valores de 88.29 ,aun con los valores mostrados al llevarlo a la práctica como se observa en la Figura 10 son bastante buenos y logra una correcta detección de cada uno de los objetos a detectar (en este caso Pollos de engorde), en la Tabla 3 se apuntaron los resultados obtenidos .

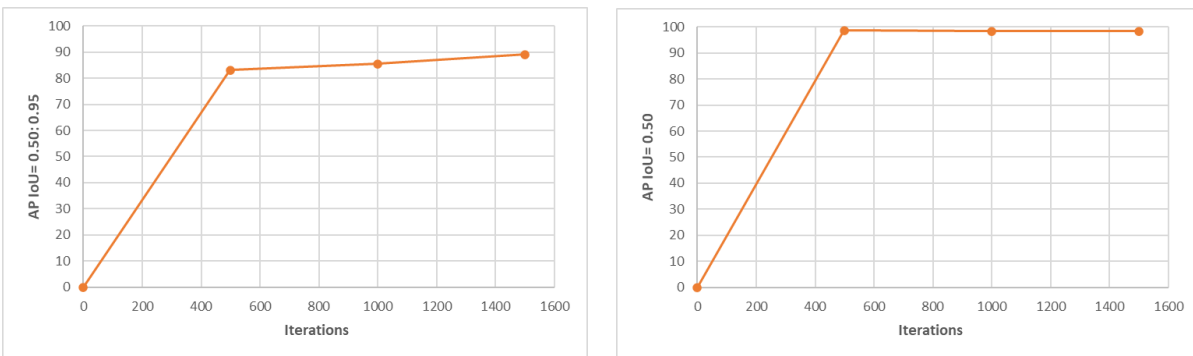


Figura 10. Gráficas que muestra la evolución de la precisión en AP IoU= 0.50: 0.95 (izquierda) y AP IoU= 0.50 (derecha) con Mask R-CNN

Tabla 3. Resultados de la precisión obtenidos con el algoritmo Mask R-CNN y el *dataset* personalizado

Parámetro	Valor
AP IoU= 0.50: 0.95	88.29
AP IoU= 0.50	98.25
Recall	92.6

El testeo de Mask R-CNN se aplicó a imágenes en su resolución nativa (1920 × 1080 pixeles) y que no tuvieran un etiquetado, el algoritmo logra detectar correctamente a los pollos y consigue aplicarles la máscara correspondiente de una manera bastante eficiente.



Figura 11. Detección de imagen usando Mask R-CNN con el *dataset* personalizado

Resultados obtenidos con YOLOv5

YOLOv5 obtiene valores de predicción mejores que Faster R-CNN y Mask R-CNN teniendo resultados en IoU 0.5 valores de 99.5 y en la precisión con IoU 0.50: 0.95 llega a valores de 93, esto se debe principalmente a que el recall de este algoritmo es el más preciso en este *dataset* llegando a un valor casi perfecto de 99.7, su etapa de entrenamiento llega a tener un poco de ruido, pero sin embargo logra predicciones ya en la aplicación del testeo de las imágenes de una forma bastante buena.

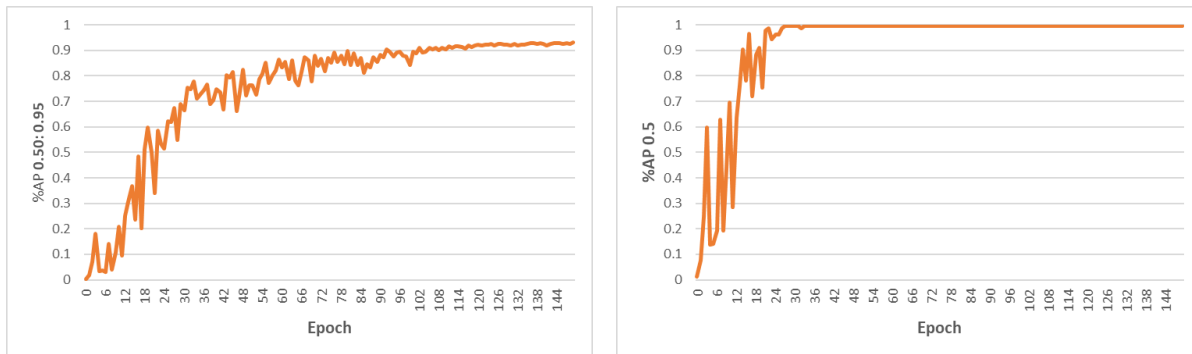


Figura 12. Gráficas que muestra la evolución de la precisión en AP IoU= 0.50: 0.95(izquierda) y AP IoU= 0.50(derecha) con YOLO

Tabla 4. Resultados de la precisión obtenidos con el algoritmo YOLOv5 y el *dataset* personalizado

Parámetro	Valor
AP IoU= 0.50: 0.95	93
AP IoU= 0.50	99.5
Recall	99.7

El testeo de YOLOv5 se aplicó a imágenes en su resolución nativa (1920 × 1080 píxeles) y que no tuvieran un etiquetado, como se ha estado aplicando a cada uno de los algoritmos.

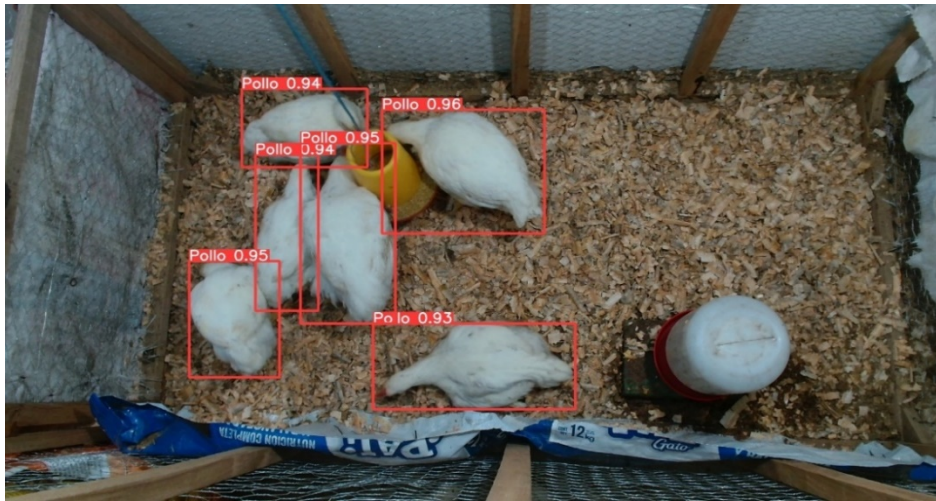


Figura 13. Detección de imagen usando YOLOv5 con el *dataset* personalizado

Comparación de los resultados

Haciendo un análisis de los resultados obtenidos podemos decir que YOLOv5 representa mejores resultados de detección de nuestro *dataset*, esto debido principalmente al recall que se tiene, es importante señalar que cuando llevamos a la práctica estos algoritmos, los 3 representan una detección bastante buena y que en el uso de nuestro *dataset* cualquiera puede ser aplicado, debido a que si bien la métrica propuesta por COCO[15] de AP IoU= 0.50: 0.95 llega a variar entre algoritmos, la métrica estándar que es AP IoU= 0.5 es bastante similar entre cada uno de ellos.

Tabla 5. Resultados obtenidos con las métricas de precisión en Faster R-CNN, Mask R-CNN y YOLOv5

Parámetros	Faster R-CNN	Mask R-CNN	YOLOv5
AP IoU= 0.50: 0.95	91.03	88.29	93
AP IoU= 0.50	98.6	98.25	99.5
Recall	94.4	92.6	99.7

Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro se pretende comparar estos resultados con las demás versiones de YOLO (principalmente con YOLOv4 y Darknet), así como importar el algoritmo en sistemas como la Jetson Nano de NVIDIA y en GPUs más potentes, con el objetivo de determinar si los resultados mejoran o ya están determinados por el propio *dataset* y las estructuras de los algoritmos, además de comparar si la cantidad de núcleos CUDA tiene relación con la precisión de los algoritmos o solamente con los tiempos de entrenamiento.

Conclusiones

Faster R-CNN, Mask R-CNN y YOLOv5 representan unos algoritmos de detección con resultados satisfactorios que logran detectar correctamente cada una de las imágenes de prueba de forma efectiva, si bien YOLOv5 es el que obtiene mejores resultados teniendo un IoU de 0.5 con un valor de 99.5 y con IoU 0.50: 0.9 llega a valores de 93, siendo por el contrario Mask R-CNN el que obtuvo peores resultados en las métricas de precisión, pero cuando los ponemos en práctica con las imágenes de testeo cada uno consiguió detectar correctamente cada ave de corral. Se pudo comprobar con un *dataset* de objetos que tenían una forma no geométrica (aves de corral) que los algoritmos de detección de imágenes más usados hoy en día consiguen resultados bastante eficientes.

Este trabajo logro comprobar que, pese a las diferencias en programación y arquitectura de los algoritmos analizados en este artículo, se han logrado resultados bastante similares que cumplen con las métricas de precisión de AP IoU=0.5 teniendo en los 3 un valor cercano a 100 y con un recall superior a 90.

Referencias

- [1] S. Redondo Cabanillas. "Visión artificial industrial: ¿De dónde venimos y hacia dónde vamos?" Bcnvision - Sistemas de visión artificial industrial. <https://www.bcnvision.es/blog-vision-artificial/vision-artificial-industrial/> (accedido el 4 de agosto de 2022).
- [2] R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell y J. Malik, "Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation", en 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Columbus, OH, USA, 23–28 de junio de 2014.
- [3] P. Viola and M. Jones, "Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Mitsubishi Electric Research Laboratories, Inc., 2001.
- [4] Freund, Yoav, and Robert E. Schapire. 1995. A Decision-Theoretic Generalization of on-Line Learning and an Application to Boosting. Vol. 904. Springer, Berlin, Heidelberg
- [5] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005.
- [6] R. Girshick, "Fast R-CNN", en 2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Santiago, Chile, 7–13 de diciembre de 2015. IEEE, 2015.
- [7] S. Ren, K. He, R. Girshick, and J. Sun, "Faster R-CNN: Towards RealTime Object Detection with Region Proposal Networks", 2015.
- [8] He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). Mask r-cnn. In Proceedings of the IEEE international conference on computer vision (pp. 2961-2969)..
- [9] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 779-788).
- [10] Redmon, J., & Farhadi, A. (2017). YOLO9000: better, faster, stronger. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 7263-7271)..
- [11] Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An Incremental Improvement. *ArXiv, abs/1804.02767*.
- [12] Alexey Bochkovskiy, Chien-Yao Wang, and Hong-Yuan Mark Liao. Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection, 2020
- [13] Glenn Jocher, Ayush Chaurasia, Alex Stoken, Jirka Borovec, NanoCode012, Yonghye Kwon, TaoXie, Jiacong Fang, imyhxy, Kalen Michael, Lorna, Abhiram V, Diego Montes, Jebastin Nadar, Laughing, tkianai, yxNONG, Piotr Skalski, Zhiqiang Wang, ... Mai Thanh Minh. (2022). ultralytics/yolov5: v6.1 - TensorRT, TensorFlow Edge TPU and OpenVINO Export and Inference (v6.1). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.622293>
- [14] A. R. Nelson. "What Is A Data Set?" Medium. <https://towardsdatascience.com/what-is-a-data-set-9c6e38d33198> (accedido el 5 de agosto de 2022).
- [15] Abhishek Dutta and Andrew Zisserman. 2019. The VIA Annotation Software for Images, Audio and Video. In Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia (MM '19), October 21–25, 2019, Nice, France. ACM, New York, NY, USA, 4 pages. <https://doi.org/10.1145/3343031.3350535>.
- [16] Géron, A. and Demarest, R., 2019. *Hands-on machine learning with Scikit-Learn and TensorFlow*. Sebastopol (Clif.) [etc.]: O'Reilly.
- [17] "COCO - Common Objects in Context". COCO - Common Objects in Context. <http://cocodataset.org/#detection-eval> (accedido el 30 de julio de 2022).

Desarrollo de Plataforma para el Aprendizaje del Lenguaje de Señas Mexicano

Guillermo Rey Peñaloza Mendoza, Miguel Ángel García González, Mario Salvador Castro Zenil, Luis Miguel Carreón Silva y Carlos Alberto Trejo Seráfico
Departamento de Ingeniería Biomédica del Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, grey@itspa.edu.mx, miguelaym12@gmail.com, mcastro@itspa.edu.mx, lcarreon@itspa.edu.mx, ctrejo@itspa.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Resumen

En este trabajo se presenta el desarrollo de una plataforma de hardware y software que permita el aprendizaje del lenguaje de señas mexicano, para ello, se diseña e implementa un guante equipado con sensores tipo Flex y un Giroscopio, los cuales permiten detectar los movimientos de extensión y flexión de los dedos y la orientación de la mano entre pronación y supinación para relacionarlos con los símbolos de la dactilología, además se diseña una interfaz gráfica que se conecta con el dispositivo electrónico para determinar el símbolo dactilológico ejecutado. De igual manera, se implementa en la interfaz un sistema para el entrenamiento didáctico de los símbolos dactilológicos mediante la asignación, por entrada de texto, de una letra del alfabeto que se desea trabajar y la evaluación del símbolo realizado por medio del guante. Por último, se implementa una colección de ideogramas para el trabajo con palabras completas.

Palabras clave: Lenguaje de señas, Discapacidad auditiva, Inclusión

Abstract

In this work, the development of a hardware and software platform that allows the learning of Mexican sign language is presented, for this, a glove equipped with Flex-type sensors and a Gyroscope is designed and implemented, which allow the detection of extension movements and flexion of the fingers and the orientation of the hand between pronation and supination to relate them to the symbols of dactylogy, in addition, a graphic interface is designed that connects with the electronic device to determine the dactylogical symbol executed. In the same way, a system for the didactic training of dactylogical symbols is implemented in the interface by assigning, by text input, a letter of the alphabet to be worked on and the evaluation of the symbol made by means of the glove. Finally, a collection of ideograms is implemented for working with complete words.

Key words: Sign language, Hearing impairment, Inclusion

Introducción

El lenguaje es un medio de acceso al humano al mundo, además posee la virtud de abrir formas alternativas al pensamiento y entendimiento al lugar que habitamos y brinda la posibilidad de relacionarnos con las personas. Lo más imprescindible para el desarrollo social del ser humano es la comunicación por lo que al presentarse ciertas diferencias o dificultades en las personas como la sordera o la falta de habla, alcanzar una verdadera realización social se ve impedida o las posibilidades disminuyen considerablemente, por lo que, es difícil alcanzar un desarrollo educativo, profesional y humano óptimo, lo cual limita oportunidades de inclusión por consecuente, representaría un acto discriminatorio. La expresión oral ha acompañado al ser humano por una cantidad inmensa de años y hasta la actualidad es de las más comunes, está es la herramienta de participación, socialización y comunicación más empleada, pero ¿Qué ocurre con las personas que poseen alguna discapacidad? Para ello las personas sordas han desarrollado su propio lenguaje, este se denomina "Lenguaje a Señas". [1]

El problema es generar un material didáctico que de forma práctica y fácil sea empleado para poder enseñar a las personas este lenguaje y generar un ambiente inclusivo y poco discriminatorio. De la misma manera este material didáctico puede ser empleado para las personas sordomudas para que aprendan el lenguaje que está adaptado a sus capacidades. Bajo todas las características de las personas con este tipo de capacidad, plantea un sistema didáctico gráfico el cual sea utilizado para la enseñanza de este lenguaje, así como material de apoyo para escuelas y maestros especializados en el tema. De la misma manera es un material didáctico el cual puede ser empleado por el público en general para la enseñanza del lenguaje de señas. Es fundamental, básico y casi obligatorio el cumplimiento donde se escolarice al niño o niña con deficiencia auditiva en cualquier escuela. Es necesario que el alumnado y profesorado sean conscientes sobre lo que es la sordera y sus complicaciones. [2].

Metodología

Planteamiento del Problema

El ser humano, es un ente social, por lo que al realizar sus actividades diarias es inherente que se establezca una relación con su entorno, al crecer se comienzan a desarrollar habilidades que permiten integrarse a diferentes medios de desarrollo, esto fomenta la creatividad y el interés por todo lo que lo rodea. Esta interacción, principalmente surge de la necesidad vital de desarrollar conexiones con otros seres humanos, siendo el medio principal la comunicación verbal, pero, ¿Qué ocurre con las personas que presentan alguna discapacidad o deficiencia del habla? Según datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) actualizados al 2020, en México existe un total de 6,179,890 personas con algún tipo de capacidad diferente, lo que representa aproximadamente el 4.9 % de la población total del país, de ellas un 22% sufren de discapacidad auditiva, alrededor de 1,359,576 personas, sin embargo, hay 13 millones 934 mil 448 personas que manifestaron tener alguna limitación para realizar actividades diarias [3].

La cultura de la inclusión es un tema que actualmente se impulsa, sin embargo, aún existe falta de conocimiento sobre el tema de la discapacidad, esto provoca que las personas en el entorno de alguien que sufre alguna discapacidad se comporte con acciones exageradas o con extremos cuidados, contribuyendo a un desarrollo con inseguridades y temores, lo que deriva en un aislamiento social por la falta de una comunicación tradicional y a su vez en un desarrollo educativo limitado. Por lo tanto, una limitación de comunicación crea una vertiente significativa de problemas en el desarrollo de las personas, por lo que es necesario brindar la posibilidad de que las personas puedan comunicarse sin importar su capacidad diferente. Tomando como caso particular, a las personas con discapacidad auditiva y a su entorno es necesario darles herramientas para aprender el lenguaje de señas básico para que logren comunicarse en su vida diaria, brindando una opción para que puedan interactuar e integrarse a una educación formal.

Solución Propuesta

Se plantea la necesidad de una herramienta que permita brindar una alternativa para el aprendizaje del lenguaje de señas, la cual, pueda ser utilizada por personas que padezcan o no discapacidad auditiva, permitiendo con esto la posibilidad de educar el entorno social para generar un ambiente inclusivo y de iguales oportunidades de crecimiento, desarrollo y mejor calidad de vida para ambos sectores poblacionales. Para lograr esto, se propone:

Diseñar y construir una plataforma, implementando la combinación de hardware y software interactivo, que permita ser una alternativa para el aprendizaje didáctico del lenguaje de señas mexicano, de tal forma que el usuario no requiera asesoría especializada para emplearla.

Se plantea para esta plataforma el diseño y construcción de los siguientes elementos que interactuarán entre si

- Crear un dispositivo electrónico montado sobre un guante, capaz de detectar los movimientos de extensión y flexión de los dedos para ser parametrizados para reconocer los símbolos de la dactilología.
- Diseñar y crear una interfaz gráfica que permita conectar el dispositivo de hardware electrónico, para el reconocimiento de los símbolos de dactilología realizados y el entrenamiento de los mismos mediante repeticiones.
- Implementar en la interfaz gráfica una herramienta auxiliar para el aprendizaje de ideogramas del lenguaje de señas.

Preparación

Actualmente la forma convencional en la que se puede aprender el lenguaje de señas es que alguna persona que lo sepa transfiera el aprendizaje a quien lo desea aprender, por medio de clases o sesiones junto con asesoría para que la persona pueda dominar el lenguaje de señas y poder emplearlo en situaciones que lo requieran. Así mismo existen manuales los cuales explican el origen del lenguaje de señas y como es que ha evolucionado. Dentro de estos manuales existen diversas reglas para dicho lenguaje como si fueran reglas ortográficas. Cabe mencionar que en México no todas las escuelas poseen las herramientas necesarias como lo son docentes capacitados para la enseñanza del lenguaje o manuales necesarios que contengan el alfabeto en dicho lenguaje. Es donde entra el proyecto en cuestión, para poder suplir los materiales de apoyo anteriores. También se han encontrado programas que hacen uso de las tecnologías de la información y de la comunicación mediante sitios web para promover los materiales didácticos para personas que presentan discapacidad auditiva, como ejemplo la Universidad de Veracruz pretende poner al alcance de las personas sordas, familiares, docentes e instituciones educativas, mediante el uso de internet o recursos digitalizados e impresos, materiales especializados [4]. Para poder comenzar a resolver la problemática es necesario conocer que es lenguaje de señas y como es que este lenguaje representa las letras del alfabeto para formar palabras y poder establecer una comunicación. Así mismo es importante conocer de qué manera se debe de enseñar a las personas. De igual manera para poder realizar el material didáctico se realizó un análisis sobre las diferentes formas en las que la enseñanza pueda ser de forma gráfica y fácil de comprender.

Para comenzar, existen reglas básicas dentro del lenguaje de señas, en el caso de las mujeres, la joyería debe ser discreta, de ser posible, se deben evitar collares, aretes largos, anillos con movimiento, pulseras y mascadas. En el caso de los hombres se recomienda usar chaleco cuando se hace uso de corbata con el fin de que las manos choquen con ella. Además, no se debe de mascar chicle ya que esto distrae y confunde al interlocutor. El señalar a la gente facilita la comunicación con las personas.

Ahora bien, en el caso particular de México, la lengua de señas está compuesta por la dactilología y los ideogramas. Se conoce como dactilología a lo que es el deletreo en lengua oral y está representada con el abecedario. Cada palabra se puede representar con la articulación de mano correspondiente de cada letra que la conforma. Acorde a lo anterior la palabra “casa” se puede representar con cada una de sus letras como se muestra en la Figura 1 a). Los ideogramas representan una palabra con varias configuraciones de mano. Como se muestra en la Figura 1 b), aparte de hacer la representación con ambas manos las flechas significan un movimiento con ellas en una sola dirección.



Figura 1. Palabra “casa” formada por a).- dactilología y b).- ideográficamente.

Es importante mencionar que la ejecución de ciertas letras cambia al pasar de la dactilología a los ideogramas. Así mismo el lenguaje de señas no es universal, es específico de cada país, ya que dentro de estos existen ciertos regionalismos. El lenguaje de señas tiene ciertas especificaciones, como el caso para especificar el género femenino. Durante mucho tiempo se ejecutaba moviendo la mano en pronación, dorso hacia arriba, en línea recta hacia abajo, hoy en día es preferible marcarlo con la palabra mujer, por lo que, primero se realiza la palabra y luego se hace la seña de la palabra mujer. Esta marca no es necesaria para palabras que ya tienen incluido el género, tal es el caso de: papá, mamá, yerno, nuera, etc. Para los tiempos verbales es común agregar la seña para: presente, pasado y futuro, para conjugar el verbo en el tiempo que se desea, Figura 2.

Es importante mencionar que cuando se están aprendiendo los tiempos verbales, se debe utilizar la seña de “presente” para enfatizar el tiempo, a pesar de que en la comunicación cotidiana no es común realizarla. En algunos casos el uso de adverbios y frases adverbiales como lo es: ayer, antier, la semana pasada, etc. Se sobreentiende que la oración está en pasado y no es necesaria la seña de “pasado”. Lo mismo ocurre con el futuro. Es muy importante mencionar que cuando las señas se realizan con dos manos, la mano dominante hace los movimientos principales y la otra mano sirve de apoyo [5].

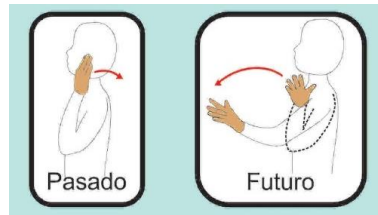


Figura 2. Señas para los tiempos verbales pasado y futuro.

Desarrollo

El proceso de diseño del dispositivo físico presenta como primer problema, la adquisición de la posición de los dedos de la mano, para determinar los estados de flexión o extensión de los mismos, que permiten el trabajo de la dactilología, dejando de manera paralela el caso del manejo de los ideogramas, ya que en estos se utilizan ambas manos lo que representa un sistema diferente al diseñado, para esto se tomó como referencia los trabajos [6, 7]. Por lo tanto, el parámetro principal a medir en el problema planteado es la detección relativa de la posición de los dedos, para esto, una solución es la implementación de un guante de trabajo en el cual se colocarán sensores de flexión, estos serán puestos en el dorso de cada dedo, tal como se muestra en la Figura 3, para que de esta manera se pueda medir la extensión y flexión de los mismos.

El principio básico de los sensores de flexión, también llamados flexómetros o conocido de manera general como “sensor flex” cuyas características técnicas se encuentran en la Tabla 1, es que su resistencia varía con respecto al doble o a la flexión que estos sensores presenten, permitiendo que mediante un divisor de voltaje se puedan medir estos cambios de valores o posiciones utilizando un microcontrolador, en este caso una tarjeta de desarrollo Arduino. Con ayuda de la lógica de programación, se parametrizan los valores entregados por cada dedo y esto permite detectar la posición en tres rangos necesarios, extensión, flexión y semi-flexión, en donde se encuentre cada dedo y así poder asignarle algún valor que permita, mediante una base de datos, transformarlos en una letra. El arreglo de los divisores de voltaje que entregará la señal al microcontrolador se muestra en la Figura 4, donde R_1 es una resistencia fija de 125k Ω , R_2 es la resistencia del sensor flex, V_{in} es el voltaje de alimentación que es de 5 v y V_{out} es el voltaje de la señal de salida que será enviado al microcontrolador, el arreglo es para cada dedo.

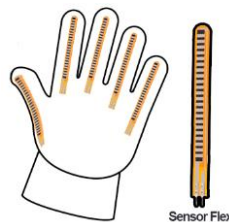


Figura 3. Colocación de sensores de flexión sobre el guante de trabajo.

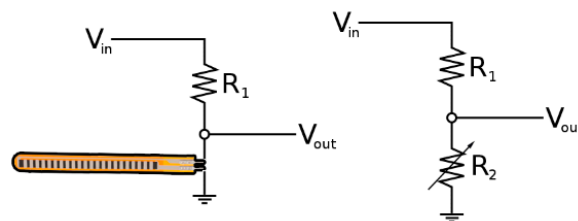


Figura 4. Conexión eléctrica para la obtención de la señal a partir de divisor de voltaje.

El algoritmo de la lectura y parametrización de los sensores flex es simple, estos sensores con el arreglo de divisor de voltaje mostrado en la Figura 4, arrojan un valor analógico dependiendo de la flexión o extensión de los dedos, esta señal es tomada por el microcontrolador en la tarjeta de desarrollo Arduino y mapeada digitalmente de un rango de 0 a 5 v analógico a un valor numérico correspondiente a 10 bits. Por lo tanto, el movimiento de los dedos es parametrizado dentro de un rango de 0 a 1023, empleando la fórmula del divisor de voltaje, se obtienen los datos de la Tabla 2 para las diferentes posiciones de los dedos. Posteriormente, a cada posición (extensión, semi-flexión y flexión completa) se le asigna un valor (1, 2 y 3 respectivamente), el cual es enviado a la interfaz visual donde se determina que letra se está ejecutando en el guante. Otra variable que afecta la

definición del símbolo dactilológico es la orientación y movimiento de la mano. Para obtener esta lectura se emplea un giroscopio MPU6050, montado sobre el dorso de la mano, para poder determinar la posición de la mano entre pronación (dorso arriba) y supinación (dorso abajo), así como un giro en cualquier dirección. Las características técnicas relevantes del módulo MPU6050 se muestran en la Tabla 3.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del sensor Flex

Especificación	Característica	Valor
Eléctrica	Resistencia plana	25 k Ω
	Tolerancia de resistencia	$\pm 30\%$
	Rango de resistencia en flexión	45 a 125 k Ω
	Potencia nominal	0.5 watts
Mecánica	Ciclo de vida	Mayor a un millón de flexiones
	Altura	0.43 mm

Tabla 2. Relación valores analógicos y digitales de la flexión de los dedos

Dedo	Valor resistivo		Señal analógica		Valor digital	
	Extensión	Flexión	Extensión	Flexión	Extensión	Flexión
Meñique	24.9 k Ω	125.3 k Ω	0.83 v	2.50 v	169	511
Anular	24.6 k Ω	123.1 k Ω	0.82 v	2.48 v	167	507
Medio	25.3 k Ω	124.8 k Ω	0.84 v	2.49 v	171	509
Índice	25 k Ω	125.1 k Ω	0.83 v	2.50 v	170	510
Pulgar	25.1 k Ω	123.5 k Ω	0.83 v	2.48 v	170	508

Tabla 3. Especificaciones técnicas del giroscopio MPU6050

Especificaciones Técnicas	Valor
Voltaje de operación	3 a 5 VCD
Grados de libertad	6
Rango Acelerómetro	2g/4g/8g/16g
Rango Giroscopio	250Grad/Seg, 500Grad/Seg, 1000Grad/Seg, 2000Grad/Seg
Conversor AD	16 Bits (salida digital)

Al final todo es acoplado en el dorso de la mano por fuera del guante, para facilitar el movimiento de esta y que no impida alguna medición errónea o evitar un mal funcionamiento del prototipo. Una vez que el hardware se encuentra funcionando, se procede con el diseño de la interfaz visual, la cual, deberá reconocer la letra generada por este. Para lograr esto, los datos recolectados y parametrizados por el microcontrolador se envían y son recibidos por la interfaz visual realizada con el software "Visual Studio" y mediante la búsqueda en una base de datos de los símbolos dactilológicos nos muestra la imagen de la letra generada por el guante. Dentro de la interfaz se muestra una imagen sobre cómo se debe de ejecutar la letra en lenguaje de señas y se muestra la letra del alfabeto, así mismo, la interfaz cuenta con un cuadro de texto que nos permite escribir una letra que puede ser comparada con el símbolo realizado con el guante para evaluar el aprendizaje, además de contener un recuadro en el cual se muestra la letra realizada en el guante cuando se está entrenado. Así mismo, la interfaz posee dos botones los cuales nos permiten, salir de la interfaz o conectar el software con el hardware para poder empezar a realizar la ejecución de las letras y que el software las evalúe.

Resultados y discusión

El Proyecto físico terminal se muestra en la Figura 5, este fue puesto a prueba por los mismos desarrolladores para evitar que hubiera errores de programación, bugs o glitches, ya que al hacer una conexión entre dos softwares diferentes puede llegar a haber ciertos errores. Para ello se ejecutaron diferentes letras de formas aleatoria para corroborar el correcto funcionamiento del dispositivo, en la Figura 6 se muestra un ejemplo de la realización de la letra "A" y la letra "O" con la captura de pantalla de la interfaz y la letra realizada con el guante. Además de las pruebas realizadas por los desarrolladores se le pidió a un infante de 7 años que probara el dispositivo, esto se muestra en la Figura 7. Dicho infante no presenta discapacidades auditivas, lo que se pretendía con esta prueba era poder observar el comportamiento del usuario (ajeno a los desarrolladores que ya conocen completamente el sistema) y poder notar las deficiencias que este notara. Es importante observar el

desempeño del usuario utilizando el guante, en el infante al colocárselo notábamos que los dedos no cubrían completamente al guante lo que iba a causar un conflicto con los valores previamente parametrizados para las flexiones de los dedos es aquí donde entra la importancia de la calibración.



Figura 5. Prototipo funcional.



Figura 6. Interfaz mostrando la letra junto con el guante ejecutándola, a).- Letra A y b).- Letra O



Figura 7. Prueba de dispositivo con un infante

Para calibrar el giroscopio se le pide al usuario que estire su mano a la altura de su hombro en posición de pronación (como si fuera a tomar distancia en una fila), Figura 8 a). Acto seguido el usuario deberá de girar la mano 90 grados hacia la derecha a la posición neutra y posteriormente hacia la izquierda para quedar en posición neutra invertida, como se observa en la Figura 8 b). Y por último el usuario deberá de mover la muñeca a la posición de extensión y posteriormente a flexión, como se muestra en la Figura 8 c). Esto nos permitirá parametrizar los movimientos de la mano y de esta manera distinguir las letras que contienen movimiento. Para calibrar los flexores del guante se pide de inicio al usuario que extienda los dedos (valor 1) para comenzar a parametrizar sus valores, acto seguido se le pide que flexione por completo los dedos (valor 3) para asignar un valor 2 (posición semi-flexión del dedo) se estima dividiendo la diferencia entre el valor 1 y 3 dividiéndola entre 4 de esta manera a la media de la diferencia se le da un rango de $\pm 1/4$ de la diferencia entre los valores mencionados. Para corroborar el dato de igual manera se le pide al paciente que semi-flexione el dedo y si al comparar los valores se encuentran en un rango similar se procede a calibrar las posiciones y rangos.

Se han trabajado interfaces gráficas en diferentes plataformas como lo es Python y Unity, se pensaron en esas plataformas ya que Python es de programación muy dinámica y en Unity se obtienen resultados más profesionales pero debido a la falta de conocimiento en el manejo de estos programas se obtuvieron unos sistemas deficientes. En Python se realizaron mejoras con respecto al primer interfaz realizada en Unity. De Inicio, en la Figura 9 a), notamos una pantalla principal donde podemos acceder a distintas pestañas (menú) que nos permiten navegar en las diferentes opciones que contiene este sistema. En la pestaña "Opciones" podemos seleccionar la pestaña de aprendizaje, esta se muestra en la Figura 9 b), y la pestaña del aprendizaje de ideogramas.

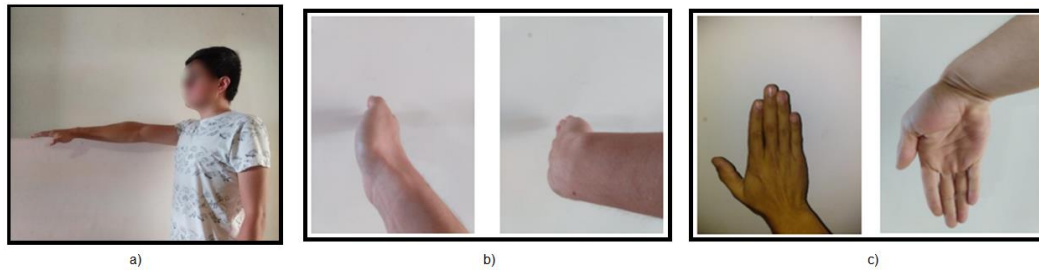


Figura 8. Método de calibración, a).- Altura a la cual debe de ser colocada la mano en pronación para calibrar el giroscopio, b).- Movimiento de la mano de la posición de pronación a posición neutra y a posición neutra invertida y c).- Movimiento de la mano en extensión (hacia arriba) y flexión (hacia abajo).

Como se puede observar, al final de la pantalla de la Figura 9 b) tenemos un cuadro de diálogo que muestra las letras que se van generando con el guante. Además, en la pestaña “Configuración” podemos calibrar el guante con el proceso anteriormente mencionado. De igual manera cuenta con una pestaña de “Ayuda” la cual da indicaciones detalladas sobre los elementos de la pantalla, así como un correo dónde se pueden enviar dudas o sugerencias acerca del sistema. Por último, contamos con una pantalla la cual es un diccionario de ideogramas, Figura 10. En esta podemos mostrar todos los ideogramas de forma alfabética. Así mismo estos pueden ser filtrados por una clasificación. Esto como un apoyo gráfico para conocer más al respecto de ellos. Cuenta con una lista de selección donde los ideogramas pueden ser filtrados por categorías.

Para la validación del prototipo se realizaron 10 rondas del alfabeto completo con 5 diferentes usuarios, lo que permitió verificar el proceso de calibración del dispositivo a diferentes manos y probar la repetibilidad del mismo para detectar los símbolos dactilológicos. En la Tabla 4 se muestran los datos de las pruebas realizadas, en estas, los usuarios tenían la referencia del alfabeto dactilológico para realizar de forma correcta las señas.

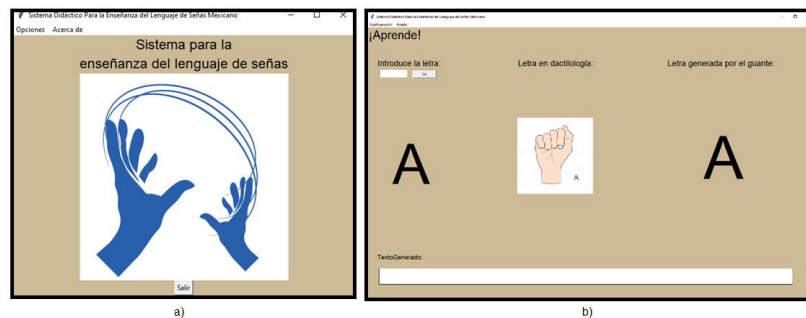


Figura 9. Pantalla de la interfaz en Python del a).- inicio y b).- aprendizaje.



Figura 10. Pantalla de ideogramas de la interfaz en Python.

Trabajo a futuro

El presente trabajo queda completamente abierto a nuevas investigaciones y nuevos seguimientos, ya que las posibilidades de que este siga creciendo son infinitas. Como bien se ha expuesto en el apartado “Futuras investigaciones”, implementar nuevas técnicas, métodos y tecnologías permitirá que la presente herramienta se pueda extender no solo en México, sino en más naciones, recordando que alrededor del mundo existen aproximadamente 360 millones de personas con discapacidad auditiva o del habla, las cuales utilizan alrededor de 300 lenguajes de señas diferentes.

Tabla 4. Especificaciones técnicas del sensor Flex

Usuario	Letra													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	10	9	10	10	9	9	9	9	10	9	10	10	10	10
2	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10
3	9	9	10	9	9	9	10	9	10	9	9	10	10	9
4	8	10	9	10	10	8	9	10	10	9	10	10	8	9
5	10	10	10	9	10	10	9	9	10	10	10	10	9	10
Total de aciertos	47	48	49	48	48	46	46	47	50	47	49	50	47	48

Usuario	Letra													Efectividad
	Ñ	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	
1	10	10	10	9	10	9	10	10	8	9	9	9	10	257/270 = 95.18%
2	10	10	10	10	9	10	10	10	8	10	10	10	10	266/270 = 98.51%
3	9	9	9	9	9	8	9	9	7	9	9	10	10	247/270 = 91.48%
4	9	10	10	9	10	10	10	10	8	10	10	10	9	255/270 = 94.44%
5	10	9	10	10	10	9	9	10	8	9	8	9	9	256/270 = 94.81%
Total de aciertos	48	48	49	47	48	48	48	50	39	47	48	50	49	94.88%

Conclusiones

El sistema de hardware y software, diseñado y construido permite la conversión del símbolo dactilológico realizado, por la mano que tiene el guante, a letra del alfabeto mediante la interfaz visual. La detección de las señas realizadas por medio de los sensores flex, permiten diferenciar hasta un 80% de las letras del alfabeto, sin embargo, casos como las letras N y U, cuya diferencia no depende de la posición de los dedos, no son detectadas como diferentes, en ese punto la integración del giroscopio fue esencial para detectar la orientación de la mano y detectar si la seña corresponde a la N o a la U. La precisión con la cual se detecta cada seña puede ser mejorado, pero actualmente se tienen resultados superiores al 94% de precisión como se muestra en la Tabla 4, presentando las principales fallas diferenciando la U de la V, cuya diferencia es la abertura de los dedos índice y medio. El método de calibración para cada usuario brinda una mejor experiencia de usuario, ya que permite establecer valores de referencia de acuerdo al ajuste de los sensores para cada usuario, haciendo con mejor precisión la detección del alfabeto en dactilología.

Referencias

- [1] B. Díez de Prado, B. Markuerkiaga Arriaga, M. Sarrionandia Derteano, M. I. Trueba Martínez, A. I. Ikazuriaga Muniategi y M. C. Pérez Negro, "Manual de lenguaje de signos. Educación Infantil.", Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Euskadi Educación, Universidades e Investigación, 1999.
- [2] M. J. Vilches Vilela, (2005). La dactilología ¿qué, cómo, cuando...?, [Online] Available: http://www.uco.es/~fe1vivim/alfabeto_dactilologico.pdf
- [3] INEGI. (2020, Enero, 15). Discapacidad en México [Online]. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/impresion/poblacion/discapacidad.asp>
- [4] M. A. Rodríguez Rorevedo. "Programa de alfabetización para personas sordas." Tendencias y desafíos en la innovación educativa: un debate abierto, pp. 1782 – 1793, septiembre 2016, México
- [5] INEGI. (2020, Enero, 15) Clasificación de Tipos de Discapacidad – Histórica. [Archivo PDF]. https://www.inegi.org.mx/contenidos/clasificadoresycatalogos/doc/clasificacion_de_tipo_de_discapacidad.pdf
- [6] J. Meriño y D. Garizabalo, "Diseño de un guante electrónico para la interpretación y traducción de lenguaje de señas en personas con discapacidad auditiva mediante tecnología arduino e interfaz de visualización por medio de una aplicación android." Tesis de Licenciatura. Unidades Tecnológicas de Santander, Bucaramanga, Santander, Colombia, 2020
- [7] J. Ávila Ochoa, "Prototipo móvil de realidad aumentada como alternativa para la comunicación de personas con padecimiento de sordera", Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Cd. Juárez, Chihuahua, México, 2019

Sistema de medición de temperatura y humedad con interfaz gráfica embebido en microcontrolador Raspberry Pi

C. A. Pérez Santos¹, A. Martínez Sibaja^{*1}, J. P. Rodríguez Jarquín¹,
O.O. Sandoval González¹, M.A. Alamillo Nieto¹

¹Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Instituto Tecnológico
(Oriente 9) No.852, Col. Emiliano Zapata, CP.94300, Orizaba, Veracruz, México.

* albino.ms@orizaba.tecnm.mx

Área de participación: Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Resumen

En el ámbito educacional, el acercamiento de estudiantes del área de Electrónica ha sistemas de automatización es de suma importancia, específicamente en el área de Control de Procesos, donde realizar un monitoreo y control de variables de interés como la humedad y la temperatura impactan directamente en la calidad de un producto final. Para la realización de este trabajo, se realizó un montaje experimental haciendo uso de un microcontrolador Raspberry Pi 4, el cual es un sistema mínimo seleccionado por su versatilidad en cuanto a lenguajes de programación que pueden ser implementados, así como que contiene por sí misma un escritorio gráfico y compuertas digitales de entrada salida de propósito general que pueden ser utilizados mediante protocolos de comunicación para comunicarse con un sinnúmero de sistemas sensores y actuadores. Para este sistema didáctico se eligió un sensor DHT22 de temperatura y humedad. Para la realización de la interfaz gráfica de usuario se utilizó la librería PyQt5 de Python. El propósito de este trabajo es acercar a la comunidad estudiantil a la automatización de procesos, en este caso de monitoreo, mediante el uso de microcontroladores asequibles, y partir de este punto para un futuro escalamiento a procesos industriales.

Palabras clave: Interfaz gráfica, Raspberry Pi 4, sensor DHT22, PyQt5.

Abstract

In the educational field, the approach of students in the area of Electronics to automation systems is of utmost importance, specifically in the area of Process Control, where monitoring and control of variables of interest such as humidity and temperature have a direct impact on the quality of a final product. For the realization of this work, an experimental setup was performed using a Raspberry Pi 4 microcontroller, which is a minimal system selected for its versatility in terms of programming languages that can be implemented, as well as containing by itself a graphical desktop and general purpose digital input and output gates that can be used through communication protocols to communicate with a myriad of sensor and actuator systems. A DHT22 temperature and humidity sensor was chosen for this didactic system. The Python PyQt5 library was used to create the graphical user interface. The purpose of this work is to bring the student community closer to the automation of processes, in this case monitoring, through the use of affordable microcontrollers, and from this point for future scaling to industrial processes.

Key words: Graphical interface, Raspberry Pi 4, DHT22 sensor, PyQt5.

Introducción

En el ámbito educativo de programas de ingeniería Electrónica, es de suma importancia el estudio de los procesos de automatización, en este rubro el uso de sensores especializados permiten obtener datos de importancia que son requeridos para generar estrategias de control en procesos, el sensado de la temperatura es uno de los más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales y comerciales [1]. La mayor parte de los procesos se ven afectados por ella. Las mediciones de la humedad se llevan a cabo cuando es primordial evitar la corrosión, la condensación, el moho, la deformación u otro tipo de desperfecto de los productos finales. Esto es sumamente importante para las áreas de alimentación, productos químicos y farmacéuticos, combustibles, madera y el papel por mencionar algunas [2]. En las instalaciones y procesos industriales, medir la humedad genera ahorro energético y mejora la calidad final del producto, además de que la calidad del aire en el interior, mejora con el control de esta variable [3].

La humedad es proporcional a la temperatura y altamente sensible a sus variaciones. Lo anterior significa que, si se tiene una temperatura estable en el sistema, la humedad también lo será. [3].

En la mayoría de los casos, esto significa asegurarse de que la humedad relativa y la temperatura nunca se eleven o disminuyan demasiado. Por ejemplo, tomemos un producto como el café. En el proceso de secado se reduce el contenido de humedad del café desde 53% (base húmeda) hasta el rango de comercialización, que de acuerdo a La NOM-149-SCFI-2001 (Café Veracruz-Especificaciones y métodos de prueba) menciona que la humedad relativa final del grano de café debe estar en el rango de 11.5 a 12.5% [4]; lo anterior para que el café no pierda peso en exceso, así como sus propiedades organolépticas, no tenga un secado disparejo, las pérdidas económicas del caficultor se reduzcan y se minimice la probabilidad de que se generen hongos y bacterias que disminuyan considerablemente la calidad del café.

El diseño de interfaces hombre-máquina es un tema inevitable cuando se está planeando automatizar un proceso, es por eso que se requiere tener un medio a través del cual el personal autorizado pueda mantener el monitoreo visual de manera constante, así como tener el control sobre los procesos Industriales [5].

Metodología

Para llevar a cabo este prototipo didáctico se eligió una tarjeta Raspberry Pi por su versatilidad, puertos de entrada salida de propósito general, interconectividad, interfaz gráfica y su asequibilidad, la Raspberry Pi es un SBC (Single Board Computer) de bajo costo desarrollado por la Fundación Raspberry Pi (raspberrypi.org), la cual es una organización benéfica con sede en el Reino Unido [6]. La que se utilizó en este trabajo es la Raspberry Pi 4 modelo B, la cual está impulsada por un procesador Quad Core ARM Cortex A72 de cuatro núcleos y 64 bits con una frecuencia de 1.5 GHz. La memoria RAM es de 4GB LPDDR4. Además, la Raspberry Pi 4 cuenta con el WiFi 802.11ac integrado y la tecnología Bluetooth 5.0 de bajo consumo BLE, también es compatible con el WiFi de los teclados y los mouses inalámbricos [7].

Se eligió como sistema de sensado, al transductor El DHT22 o AM2302, el cual es un módulo de detección de temperatura y humedad capacitivo. El sensor capacitivo y el dispositivo de medición de la temperatura son de alta precisión, que conectados con un microcontrolador de 8 bits de alto rendimiento se pueden obtener nuevos datos cada 2 segundos [8].

Protocolo de comunicación del DHT22:

El DHT22 utiliza un bus simple de comunicación para transmisión y recepción de datos [9]. Cuando el bus se encuentra en estado alto (bus = V_{CC}) esta inactivo. La comunicación comienza cuando el bus se pone en estado bajo (bus = GND) por 18 ms, posteriormente pasa al estado alto de 20 a 40 micro segundos. El DHT22 debe responder confirmando que ha recibido la orden de transmitir los datos de la humedad y la temperatura mandando el bus a estado bajo por 80 micro segundos y luego regresando el bus al estado alto por 80 micro segundos, cuando la confirmación concluye, empieza la transmisión de datos (Figura 1).

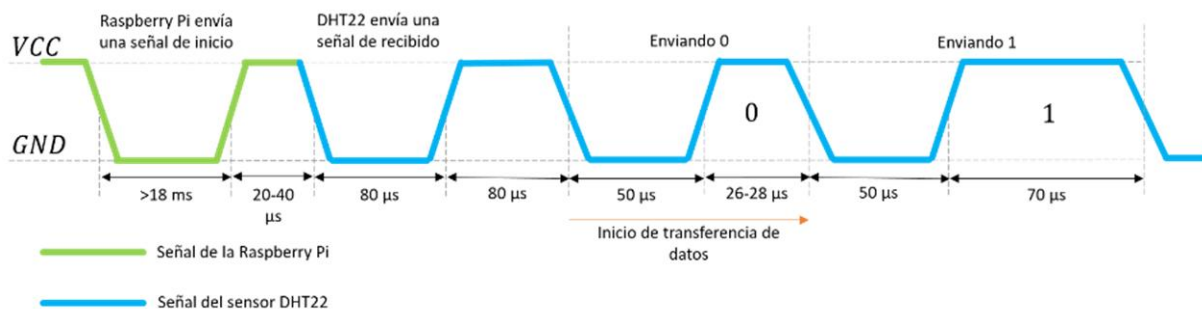


Figura 1. Protocolo de comunicación del sensor DHT22.

Al ser inicializado el programa, el transductor DHT22 cambia del modo de bajo consumo al modo de funcionamiento, enviando una señal de respuesta con datos de 40 bits que reflejan la información de humedad relativa y temperatura a la Raspberry pi.

Por ejemplo: obteniendo una temperatura de 30.3 °C y humedad relativa de 54.2%, la Raspberry Pi recibirá 40 bits del sensor: 16 bits de datos de la humedad relativa, 16 bits de datos de la temperatura y 8 bits de la suma de comprobación. En la Figura 2 se muestran los cálculos:

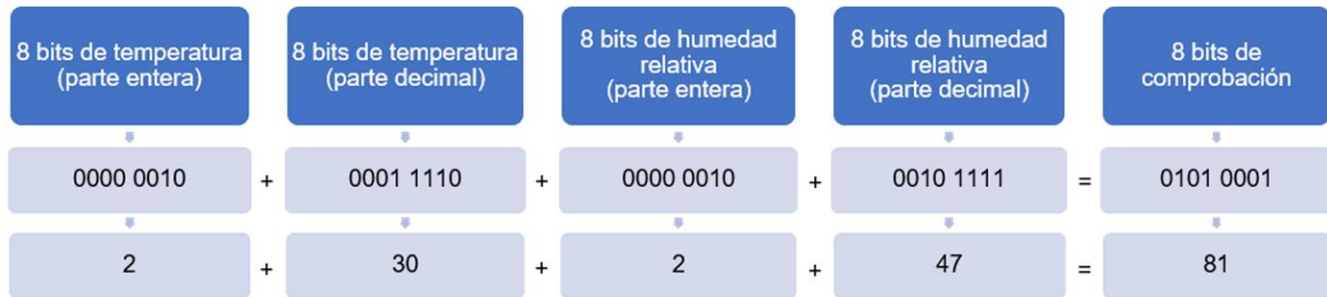


Figura 2. Protocolo de comunicación del sensor DHT22.

El DHT22 cambiará al modo de bajo consumo de energía cuando termine de recoger los datos si no recibe señal de inicio de la Raspberry Pi.

La Raspberry Pi 4 basa su funcionamiento en software en el sistema operativo Raspberry Pi OS (anteriormente llamado Raspbian, teniendo como base la distribución Debian de Linux) [10].

Por otra parte, se optó por el uso del lenguaje de programación Python, el cual es un lenguaje de alto nivel de programación interpretado, dinámico y multiplataforma, cuya filosofía hace hincapié en la legibilidad de su código. Se trata de un lenguaje de programación orientado a objetos, programación imperativa y, en menor medida a la programación funcional [11].

Para la realización de la interfaz de usuario se utilizó la librería PyQt5, la cual es un conjunto de herramientas para crear aplicaciones GUI (Graphical User Interface). Es una interfaz de Python para Qt, una de las librerías de interfaz gráfica de usuario más potentes y populares. PyQt fue desarrollado por RiverBank Computing Ltd. La API (Application Programming Interfaces) de PyQt es un conjunto de módulos que contienen un gran número de clases y funciones. Mientras que el módulo QtCore contiene funcionalidad no-GUI para trabajar con archivos y directorios, etc., el módulo QtGui contiene todos los controles gráficos. [12].

Desarrollo

Diagrama de conexiones

Se realizaron las conexiones entre la Raspberry Pi 4, el sensor DHT22 y 6 leds. Se utilizaron los pines GPIO 17, 27 y 22 de la Raspberry Pi 4 para conectar los leds correspondientes a las alarmas de la humedad; y los pines GPIO 5, 6 y 26 para conectar los leds correspondientes a las alarmas de la temperatura; el pin GPIO 23 se utilizó para conectar el sensor DHT22. El diagrama implementado se muestra en la Figura 3.

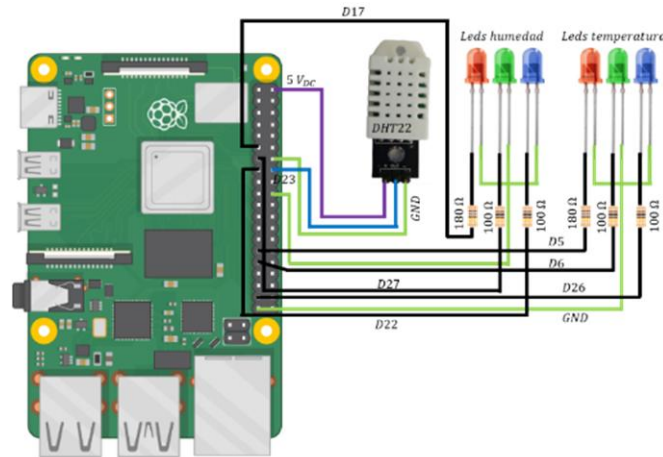


Figura 3. Diagrama de conexiones.

Interfaz gráfica

La interfaz fue diseñada para que se muestren los valores en tiempo real de las variables de interés (humedad y temperatura), las gráficas para ayudar a visualizar el comportamiento de dichas variables, un apartado para indicar los puntos de ajuste y alarmas que estarán ligadas a estos.

Adquisición de datos entre la Raspberry Pi y la interfaz gráfica

La comunicación se realiza por medio de los puertos GPIO de la Raspberry Pi. Para la obtención de datos se realiza iniciando el sensor DHT en el GPIO23 utilizando la librería “adafruit_dht”, así como también se dan de alta los leds tal como se muestra en la Figura 4.

```
# Inicio del sensor DHT22 en el pin GPIO23:
dhtDevice = adafruit_dht.DHT22(board.D23, use_pulseio=False)

#Librería GPIOZERO
from gpiozero import LED

#Pines GPIO
G17=LED(17) #Puerto GPIO17; pin 11 de placa
G27=LED(27) #Puerto GPIO27; pin 13 de placa
G22=LED(22) #Puerto GPIO22; pin 15 de placa
G5=LED(5) #Puerto GPIO5; pin 29 de placa
G6=LED(6) #Puerto GPIO6; pin 31 de placa
G26=LED(26) #Puerto GPIO26; pin 37 de placa
```

Figura 4. Inicio de la comunicación del sensor DHT22 y alta de los leds.

Las variables utilizadas en el código se muestran en la Figura 5.

```
#Variables
self.Humedad = 0
self.Temperatura = 0
self.Rastros = dict()
self.Marca_tiempo = 0
self.Eje_tiempo = []
self.Eje_Hum = []
self.Eje_Temp = []
```

Figura 5. Variables globales utilizadas.

Se muestra el formato de las gráficas mediante las variables “self.graphwidget1” y “self.graphwidget2” como se puede observar en la Figura 6.

```
#Generación del formato de las gráficas
self.graphwidget1 = PlotWidget(title="Humedad")
x1_axis = self.graphwidget1.getAxis('bottom')
x1_axis.setLabel(text='Tiempo (s)')
y1_axis = self.graphwidget1.getAxis('left')
y1_axis.setLabel(text='Porcentaje %')

self.graphwidget2 = PlotWidget(title="Temperatura")
x2_axis = self.graphwidget2.getAxis('bottom')
x2_axis.setLabel(text='Tiempo(s)')
y2_axis = self.graphwidget2.getAxis('left')
y2_axis.setLabel(text='°C')
```

Figura 6. Generación del formato de las gráficas.

Los puntos de ajuste están conectados mediante la instrucción “valueChanged” al sensor DHT22, para que cuando la Raspberry Pi lea los valores obtenidos de la humedad y la temperatura por el sensor, las alarmas se modifiquen con los valores ingresados mediante *spinBox*. Lo anterior se logra que mediante una lectura en tiempo real de los valores obtenidos mediante el sensor (ver Figura 7). Los rangos de valores permitidos para esta interfaz que se pueden ingresar por medio de *spinBox* es de 0% a 100% para la humedad, y de -100°C a 100°C para la temperatura.

```
self.ui.spinBox.valueChanged.connect(self.ObtencionDatoDHT22)
self.ui.spinBox_2.valueChanged.connect(self.ObtencionDatoDHT22)
self.ui.spinBox_3.valueChanged.connect(self.ObtencionDatoDHT22)
self.ui.spinBox_4.valueChanged.connect(self.ObtencionDatoDHT22)
```

Figura 7. Función de conexión entre el *spinBox* y el sensor DHT22.

Para obtener información del sensor DHT22 se ejecuta una función en la que se manda a llamar a los datos, para que la Raspberry Pi este permanentemente solicitando y recibiendo los datos de humedad y temperatura (Figura 8). Debido a que los errores ocurren con bastante frecuencia, los DHT son difíciles de leer porque necesitan una sincronización precisa, por eso se debe usar try en el código.

```
#Obtención de datos del sensor de Temperatura y Humedad DHT22 por medio del puerto serial
def ObtencionDatoDHT22(self):
    try:
        Temperatura = dhtDevice.temperature
        Humedad = dhtDevice.humidity
        # Opcional: Se pueden imprimir los valores obtenidos en consola
        #print("Temp: {:.1f} C Humedad: {}% ".format(Temperatura, Humedad))
        #print("Temp: {:.1f} F / {:.1f} C Humidity: {}% ".format(temperature_f, temperature_c, humidity))
```

Figura 8. Obtención de datos del sensor DHT22.

Se estableció un código que ejecuta alarmas visuales tanto físicas como en la interfaz gráfica, las cuales están representadas por leds de color rojo (temperatura y humedad alta), verde (temperatura y humedad normal) y azul (temperatura y humedad baja). Como se puede observar en la Figura 9, como se mencionó anteriormente estas alarmas están ligadas en las condicionales a los puntos de ajuste que son manipulables mediante *spinBox* y establecidos por el usuario de acuerdo a las necesidades requeridas.

```
#Alarmas
if Humedad <= self.ui.spinBox.value():
    self.ui.label_7.setPixmap(self.IBAJA)
    self.ui.label_5.setText('Humedad Baja')
    G17.off()
    G27.off()
    G22.on()

elif Humedad > self.ui.spinBox.value() and Humedad < self.ui.spinBox_2.value():
    self.ui.label_7.setPixmap(self.INORMAL)
    self.ui.label_5.setText('Humedad Normal')
    G17.off()
    G27.on()
    G22.off()

elif Humedad >= self.ui.spinBox_2.value():
    self.ui.label_7.setPixmap(self.IALTA)
    self.ui.label_5.setText('Humedad Alta')
    G17.on()
    G27.off()
    G22.off()

if Temperatura <= self.ui.spinBox_3.value():
    self.ui.label_8.setPixmap(self.IBAJA)
    self.ui.label_6.setText('Temperatura Baja')
    G5.off()
    G6.off()
    G26.on()

elif Temperatura > self.ui.spinBox_3.value() and Temperatura < self.ui.spinBox_4.value():
    self.ui.label_8.setPixmap(self.INORMAL)
    self.ui.label_6.setText('Temperatura Normal')
    G5.off()
    G6.on()
    G26.off()

elif Temperatura >= self.ui.spinBox_4.value():
    self.ui.label_8.setPixmap(self.IALTA)
    self.ui.label_6.setText('Temperatura Alta')
    G5.on()
    G6.off()
    G26.off()
```

Figura 9. Código que ejecuta alarmas visuales físicas y en la interfaz gráfica.

Para poder graficar las variables de humedad y temperatura fue necesario implementar las siguientes funciones: la primera fue para iniciar la gráfica mediante “def Inicio_Grafica_Hum(self)” para la humedad y “def Inicio_Grafica_Temp(self)” para la temperatura, las cuales están enlazadas con un reloj “QtCore.QTimer” que

detiene, elimina los últimos valores visualizados y limpia el espacio de la gráfica; para posteriormente actualizar la gráfica en el tiempo de refresco establecido (1 segundo). Ver Figura 10.

```
def Inicio_Grafica_Temp(self):  
  
    if self.Grafica_actual:  
        self.Grafica_actual.stop()  
        self.Grafica_actual.deleteLater()  
        self.Grafica_actual = None  
    self.Grafica_actual = QtCore.QTimer()  
    self.Grafica_actual.timeout.connect(self.Actualizar_Temp)  
    self.Grafica_actual.start(1000)
```

Figura 10. Temporizador de la actualización de la gráfica.

Las siguientes funciones “def Actualizar_Hum(self)” y “def Actualizar_Temp(self)” actualizan los valores del eje ‘x’ (tiempo) y el eje ‘y’ (amplitud de las variables) de las gráficas. Ver Figura 11.

```
def Actualizar_Temp(self):  
    self.Marca_tiempo += 1  
  
    self.deque_Marca_tiempo.append(self.Marca_tiempo)  
    self.deque_Hum.append(self.Humedad)  
    self.deque_Temp.append(self.Temperatura)  
    Lista_Eje_tiempo = list(self.deque_Marca_tiempo)  
    Lista_Temp = list(self.deque_Temp)  
  
    if self.Marca_tiempo > self.Lim_Grafica:  
        self.graphwidget2.setRange(xRange=[self.Marca_tiempo-self.Lim_Grafica+1, self.Marca_tiempo],  
                                   yRange=[min(Lista_Temp[-self.Lim_Grafica:]), max(Lista_Temp[-self.Lim_Grafica:])])  
  
    self.set_plotdata(name="Humedad", data_x=Lista_Eje_tiempo, data_y=Lista_Temp)
```

Figura 11. Actualización de la gráfica.

Por último, en la Figura 12 se muestra el código que generan las líneas de gráfica que está conformada por los datos obtenidos de temperatura y humedad.

```
def set_plotdata(self, name, data_x, data_y):  
    # print('set_data')  
    if name in self.Rastros:  
        self.Rastros[name].setData(data_x, data_y)  
    else:  
        if name == "Temperatura":  
            self.Rastros[name] = self.graphwidget1.getPlotItem().plot(pen=pg.mkPen((85, 170, 255), width=3))  
  
        elif name == "Humedad":  
            self.Rastros[name] = self.graphwidget2.getPlotItem().plot(pen=pg.mkPen((255, 0, 127), width=3))
```

Figura 12. Visualización de los valores de humedad y temperatura en la gráfica.

Resultados

Como se muestra en las Figuras 13, 14, 15 y 16 se obtienen los valores de las variables de interés provenientes del pin digital GPIO23 de la Raspberry Pi, mostrándose estas mediante un texto, una gráfica y una *progressBar* circular. Así mismo las alarmas indicadoras pueden observarse de manera clara.



Figura 14. Interfaz gráfica funcionando a temperatura y humedad relativa del ambiente con puntos de ajuste.

Figura 13. Interfaz gráfica funcionando a temperatura y humedad relativa del ambiente sin valores de puntos de ajuste.

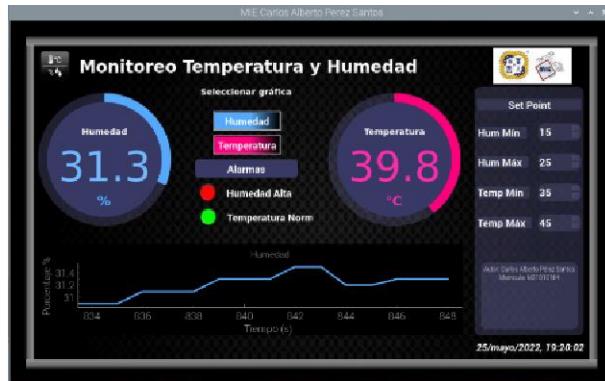


Figura 15. Interfaz gráfica funcionando con perturbación externa de incremento de temperatura y humedad con valores de puntos de ajuste. Mostrando gráfica de humedad relativa.



Figura 16. Interfaz gráfica funcionando a temperatura y humedad ambiente sin valores de puntos de ajuste. Mostrando gráfica de la temperatura.

Como se puede observar, al incrementar la temperatura, la humedad disminuye; y viceversa.

Trabajo a futuro

Se espera como trabajo futuro crear una metodología por la cual los estudiantes puedan implementar distintos tipos de sensores para utilizar en sus proyectos o prototipos didácticos.

Conclusiones

La implementación de Raspberry Pi 4 con la librería PyQt5 de Python para la realización de interfaces gráficas disminuye el tiempo de elaboración y el proceso de creación del código de la interfaz.

El uso de la tarjeta Raspberry Pi 4 en el ámbito educacional es adecuado, debido a su versatilidad y asequibilidad, a parte de que es el microcontrolador que más está impactando en el medio de sistemas digitales y cada vez su uso en el medio industrial es de mayor frecuencia.

Referencias

- [1] Y. A. Ahmad, T. Surya Gunawan, H. Mansor, B. A. Hamida, A. Fikri Hishamudin and F. Arifin, "On the Evaluation of DHT22 Temperature Sensor for IoT Application," in 2021 8th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE), 2021, pp. 131-134, doi: 10.1109/ICCCE50029.2021.9467147.
- [2] S. Bell, "The Beginner's Guide to Humidity Measurement", National Physical Laboratory, vol. 124, p. 1, 2013.
- [3] "Relative Humidity – What Is It And Why Is It Important?" <https://www.vaisala.com/en/blog/2018-10/relative-humidity-what-it-and-why-it-important> (accedido el 26 de mayo de 2022).
- [4] Café Veracruz-Especificaciones y métodos de prueba., NOM-149-SCFI-2001, México, 2002.

- [5] E. D. Bohórquez, E. A. Prado y M. F. Ramirez, "Implementación de la norma ISA 101, sobre las HMI, pertenecientes a los módulos de instrumentación de la Universidad ECCI", Seminario Internacional, Volumen III, No. XX, p. 3, 2019.
- [6] J. W. Jolles, "Broad-scale applications of the Raspberry Pi: A review and guide for biologists", *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 12, n.º 9, pp. 1562–1579, junio de 2021. Accedido el 31 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1111/2041-210x.13652>.
- [7] N. Paniti, T. Yannakorn, R. Meennapa, "Development of Real-Time Hand Gesture for Volume Control Application using Python on Raspberry Pi" in 2022 The 5th International Conference on Software Engineering and Information Management (ICSIM2022), Yokohama, Japón, pp. 1-5, January 2022.
- [8] Temperature and humidity module AM2302 Product Manual, Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd., Guangzhou, China.
- [9] M. Bogdan, "How to Use the DHT22 Sensor for Measuring Temperature and Humidity with the Arduino Board", *ACTA Universitatis Cibiniensis*, vol. 68, n.º 1, pp. 22–25, diciembre de 2016. Accedido el 31 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1515/aucts-2016-0005>.
- [10] I. Ardiansah, N. Bafdal, E. Suryadi, and A. Bono, "Design of Micro-Climate Data Monitoring System for Tropical Greenhouse based on Arduino UNO and Raspberry Pi," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 757, no. 1, p. 012017, May 2021, doi: 10.1088/1755-1315/757/1/012017.
- [11] Á. P. Hinojosa Gutiérrez, *Python. Paso a Paso*. Madrid, España: RA-MA, S.A. Editorial y publicaciones, 2016.
- [12] G. Peiming, et al., "A PyQt5-based GUI For Operational Verification Of Wave Forecasting System," in 2020 International Conference on Information Science, Parallel and Distributed Systems (ISPDS), Xi'an, China, 2020 pp. 204-211. url: <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/ISPDS51347.2020.00049>.

Implementación de Raspberry Pi como bróker para interacción entre dispositivos IoT

A. Martínez Ramón^{1*}, B. E. González Sánchez¹, J. P. Rodríguez Jarquin¹, O. O. Sandoval González¹, G. Águila Rodríguez¹, I. Herrera Aguilar¹.

¹Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Instituto Tecnológico (Oriente 9) No.852, Col. Emiliano Zapata, CP.94300, Orizaba, Veracruz, México.

[*ani25mtzr@gmail.com](mailto:ani25mtzr@gmail.com)

Área de participación: Ingeniería Electrónica

Resumen

La tecnología IoT ha tenido gran alcance los últimos años, teniendo avances importantes principalmente en la domótica, pero también ha cobrado interés en el sector industrial. Desde tiempo atrás se manifiesta el interés en el control y monitoreo remoto de sistemas físicos, como lo es en la telemetría y en la tecnología WSN. Aun cuando algunas implementaciones del control remoto en la industria están a flote, hay industrias que permanecen resistentes al cambio por algunos puntos débiles que siguen teniendo estas aplicaciones. Con la llegada del IoT se han realizado desarrollos tecnológicos para complementar la tecnología existente en telemetría y WSN. En el presente artículo, se dan a conocer los resultados de la comunicación MQTT entre un Arduino UNO, como placa de adquisición de datos, junto con el dispositivo Bluee32 como puente y una interfaz gráfica desarrollada con PyQt, implementando una Raspberry Pi y Mosquitto como bróker.

Palabras clave: IoT, MQTT, Raspberry Pi, PyQt.

Abstract

IoT technology has had a great scope in recent years, making important advances mainly in home automation, but it has also gained interest in the industrial sector. Interest in remote control and monitoring of physical systems, such as telemetry and WSN technology, has been manifest for some time. Even when some remote control implementations in the industry are afloat, there are industries that remain resistant to change because of some weak points that these applications continue to have. With the arrival of the IoT, technological developments have been made to complement the existing technology in telemetry and WSN. In this article, the results of the MQTT communication between an Arduino UNO, as a data acquisition board, together with the Bluee32 device as a bridge and a graphical interface developed with PyQt, implementing a Raspberry Pi and Mosquitto as a broker are disclosed.

Key words: IoT, MQTT, Raspberry Pi, PyQt.

Introducción

El concepto de IoT (*Internet of Things*) o del Internet de las Cosas es bastante amplio y con diferentes interpretaciones, algunos autores lo definen como un paradigma [1] o una revolución tecnológica [2], pero todos parten de la premisa: objetos o dispositivos generan y envían datos por internet sin intervención humana. Estos datos se utilizan según el objetivo como puede ser la monitorización, control y/o el análisis de esos mismos datos.

La tecnología IoT ha provocado revuelo en la domótica, no obstante, también está llamando la atención del sector industrial. Desde hace años se ha mantenido el interés en la medición remota de magnitudes físicas o lo que se conoce como telemetría, fue en el siglo XIX que se hicieron los primeros experimentos de telemetría conocidos en la historia, el primero del que se tiene registro fue llevado a cabo en 1874 por científicos franceses que

desarrollaron dispositivos de información meteorológica y de profundidad de nieve, utilizaron un enlace de radio de onda corta para transmitir los datos de la cima del Mont Blanc a París [3]. La tecnología *Wireless Sensor Network* (WSN: Red Inalámbrica de Sensores) puede considerarse como una solución a la necesidad de interoperabilidad, a pesar de que su implementación tiene grandes ventajas como los bajos costos operativos, autoorganización, autoconfiguración, flexibilidad, rápido despliegue y fácil actualización, en aplicaciones industriales es necesaria también la confiabilidad, seguridad de red, facilidad de uso y mayor duración de batería [1]; los avances que ha tenido la tecnología IoT pueden ser de gran utilidad en este campo, obteniendo resultados satisfactorios al tener como base toda la tecnología relacionada con la telemetría.

El término IoT se sigue considerando nuevo, aún no hay un estándar general para esta tecnología. Los desarrollos que se han realizado en este ámbito siguen siendo particulares, los desarrolladores emplean dispositivos y protocolos de comunicación muy específicos para cumplir su objetivo, lo que no permite poner en práctica esta misma arquitectura para otro propósito. En [3] se propone la siguiente estructura para el estudio y desarrollo de tecnología IoT, la cual concuerda con varios trabajos realizados los últimos años, quizás con títulos un poco diferentes, pero refiriéndose a lo mismo (Figura 1). Para cada componente existen tecnologías específicas y variadas dependiendo el objetivo de la aplicación y su arquitectura.

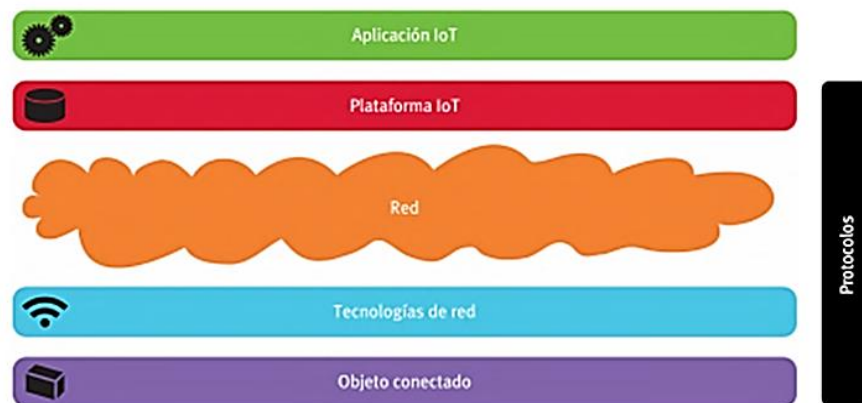


Figura 1.- Diagrama de los componentes tecnológicos del IoT.

El presente artículo se enfoca principalmente en la capa de tecnologías de red, red y plataforma IoT, se busca encontrar la mejor arquitectura para monitorear sensores y controlar actuadores de forma remota en tiempo real, utilizando a Arduino UNO, como placa de adquisición de datos, y el dispositivo Bluee IoT como puente de comunicación, el cual se basa en el chip ESP32/ESP8266 programado con un entorno de trabajo para conexiones Wifi llamado IoT Framework [4]. El dispositivo Bluee32 es el que tiene integrado el chip ESP32, se puede configurar su conexión Wifi, enviar y recibir datos desde internet e integrarlo a plataformas de desarrollo, en este caso Arduino, por medio del puerto serial, también entre sus utilidades se encuentra una librería para Arduino para realizar comunicaciones con websockets, comunicación serial, operar como servidor web, comunicarse con Firebase, comunicaciones MQTT (Message Queue Telemetry Transport) entre otras funciones. [4]

Para este trabajo se seleccionó la tarjeta Raspberry Pi debido a que cumplía las características requeridas para su implementación como bróker y para evaluar su desempeño al ejecutarlo. Este puede ser sustituido por otro microcontrolador con características similares, por lo que este trabajo se centra en el diseño y el desarrollo de la comunicación por software.

Propuestas de arquitectura de conexión

En la primera propuesta mostrada en la Figura 2, el Arduino está conectado al sistema físico por medio de sus entradas y salidas digitales y analógicas. El dispositivo Bluee se comunica con Arduino por serial usando los pines TX y RX. Se emplearían dos interfaces gráficas: una para la PC remota del usuario, la cual se comunica con el dispositivo Bluee por Wifi; la otra interfaz sería para la PC host, esta se comunica con Arduino por el puerto COM y el protocolo Firmata. La interfaz gráfica se realizaría con Python, QtDesigner y PyQt para su programación. La razón por la que no se eligió esta opción es que no es compatible la librería de Bluee para Arduino y el StandardFirmata, podría buscarse la manera de acoplar ambas herramientas, pero resultaría tedioso y requeriría

mucho tiempo para un resultado inseguro, aparte de que al ser una comunicación serial no es una buena opción para conectar muchos dispositivos y reduciría la capacidad de ser escalable para futuros trabajos.

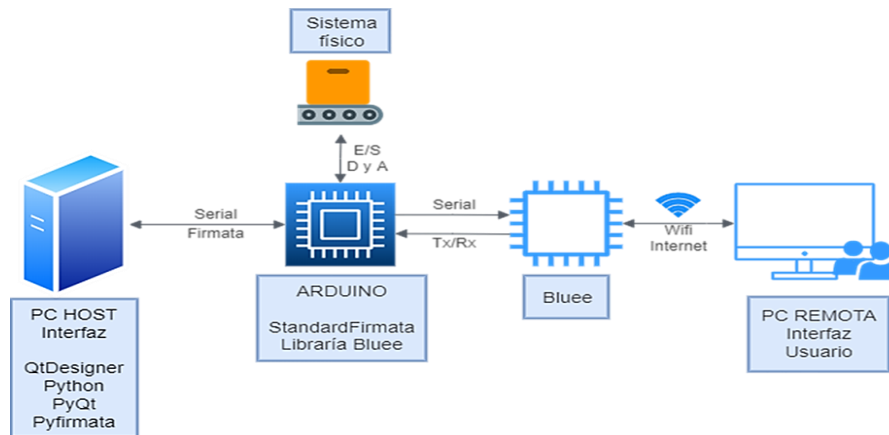


Figura 2.- Diagrama de arquitectura de comunicación con Firmata.

En la segunda propuesta la comunicación entre el sistema físico, el Arduino y el dispositivo Bluee es igual que en la primera propuesta, como se puede observar en la Figura 3, la diferencia está en cómo se comunicará el dispositivo Bluee con la PC Host y la PC remota. En este caso la interfaz gráfica sería una página web cargada en la PC Host como servidor; la PC remota y el dispositivo Bluee intercambiarían datos por HTTP y/o HTTPS. La comunicación con una página web se efectúa por peticiones, lo que resulta una desventaja para una aplicación IoT, si se llegan a tener muchos dispositivos conectados para el control en tiempo real de los sistemas físicos provocarían dificultad en el flujo de datos, lo que no es conveniente en un control remoto.

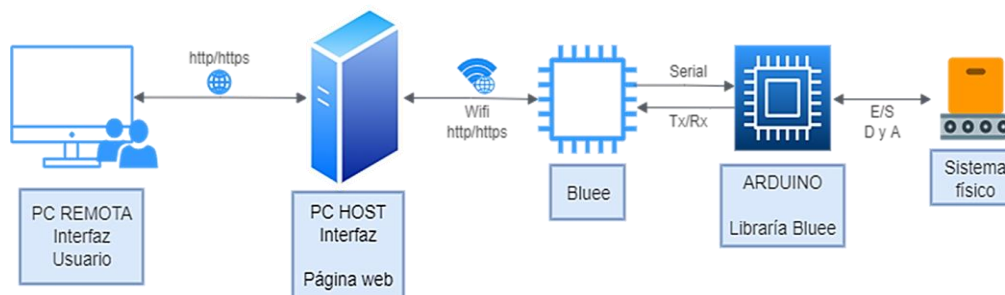


Figura 3.- Diagrama de arquitectura de comunicación con página web.

La arquitectura definitiva es la que se encuentra en la Figura 4, que de la misma forma que en los dos diseños anteriores, el sistema físico y el Arduino están conectados a las entradas y salidas digitales y analógicas, el dispositivo Bluee se comunica con el Arduino por comunicación serial.

La diferencia radica en el protocolo de comunicación: el sistema embebido se comunica por MQTT con los usuarios y la PC Host, gracias a que el dispositivo Bluee funciona como puente. Con base en [5], donde se realizó un análisis de comparación entre tres bróker abiertos, entre los cuales destacó Mosquitto; y [2] que describe que los dispositivos de la familia Raspberry destacan un buen desempeño como bróker, se opta por una Raspberry Pi y Mosquitto como bróker.

Bluee32 es compatible con este protocolo al igual que la interfaz gráfica que se realizará con Python, PyQt y el módulo Paho para crear un cliente MQTT con Python; esta interfaz será la misma para el usuario y la PC Host, la diferencia será que el PC Host guardará ciertos datos para su administración ya que el bróker no almacena información, solo se encarga de organizar hacia dónde van los datos.

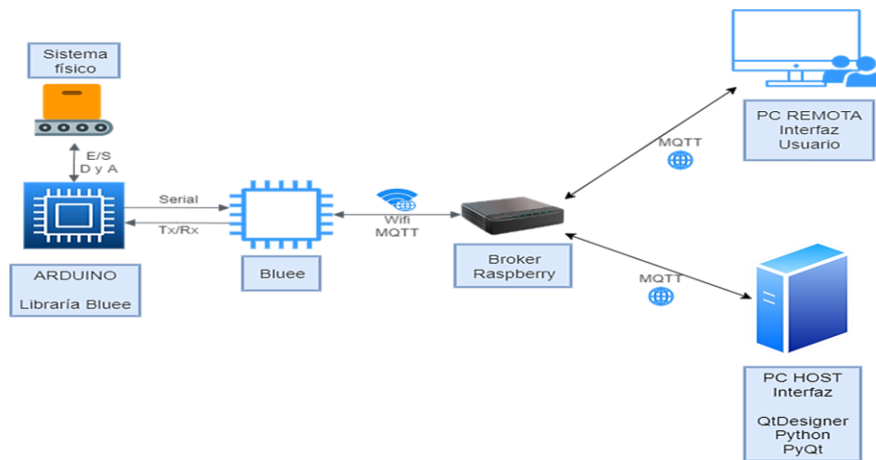


Figura 4.- Diagrama de arquitectura de comunicación con MQTT.

La razón por la que se optó esta arquitectura es que el protocolo MQTT está diseñado como un transporte de mensajería liviano, abierto, para ser fácil de poner en marcha y proporciona distribución de mensajes de uno a muchos [6], además de que muchos trabajos desarrollados para proyectos IoT utilizan este protocolo de forma satisfactoria al igual que propuestas para su uso en la industria, por ejemplo: en [7] que realiza una propuesta de arquitectura IoT en procesos industriales; y en [8] realizan una comparativa de los protocolos MQTT y CoAP donde concluyen que MQTT es mejor para este tipo de trabajos. También es importante mencionar que actualmente existen varias plataformas y lenguajes de programación que son compatibles con este protocolo por lo que es muy comprometedor para trabajos futuros que permitan volver escalable este trabajo.

Protocolo MQTT

El protocolo MQTT tiene el estilo de aplicación de mensajería publicación/suscripción. En una comunicación por MQTT existen dos principales elementos que son el bróker o servidor y el cliente. El bróker es un programa o dispositivo que actúa como intermediario entre clientes, sus funciones son aceptar conexiones de red de clientes, aceptar los mensajes publicados por los clientes, procesar solicitudes de suscripción, cancelación de suscripción de los clientes y cerrar la conexión de red del cliente. Un cliente es un programa o dispositivo que utiliza MQTT para abrir una conexión de red, un cliente puede ser publicador, suscriptor (que recibe mensajes) o ambos. Un cliente se puede suscribir a un tema para así recibir los mensajes publicados solo a ese tema especificado enviados por otros clientes. Para publicar un mensaje se debe especificar el tema del mensaje, la calidad de servicio (QoS) y si el mensaje debe ser retenido, este mensaje es enviado al bróker y este se encarga de distribuir el mensaje a los clientes que se suscribieron al tema del mensaje publicado. [6]

Siguiendo la documentación de [6], el protocolo MQTT puede manejarse con tres tipos de QoS:

- QoS₀: el mensaje se envía una sola vez, sin recibir notificación de recibido.
- QoS₁: el mensaje se envía al menos una sola vez, se asegura que el mensaje sea recibido podrían llegar a duplicarse.
- QoS₂: el mensaje se recibe exactamente una vez.

Metodología

El desarrollo de la arquitectura mostrada en la Figura 4 consta de los tres pasos mostrados en la Figura 5:

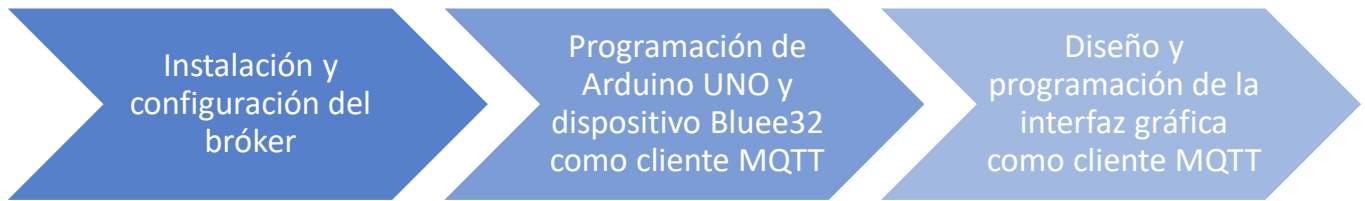


Figura 5.- Diagrama de la metodología.

Instalación y configuración del bróker

El bróker Mosquitto se instala y corre en la Raspberry Pi que cuenta con el sistema operativo UbuntuMATE 21.10. Una vez instalado se crea un archivo de configuración las líneas que se muestran en la Figura 6. Al correr este archivo junto con Mosquitto, permite que dispositivos externos se conecten al bróker, de otra forma el bróker solo admitirá clientes que se encuentren en el localhost, que en este caso es la Raspberry Pi.

```
GNU nano 5.6.1 mosquitto.conf
listener 1883
allow_anonymous true
```

Figura 6.- Contenido del archivo de configuración de Mosquitto.

Arduino y Bluee32

El sistema físico se compone de un led como actuador y un potenciómetro como sensor, el diagrama de conexión se muestra en la Figura 7. Se conectan los pines TX y RX del Arduino UNO y el Bluee32 para comunicarlos. En la página web de configuración que viene integrada en el dispositivo Bluee32 se activa la conexión MQTT, se especifica a que tema se va a suscribir, el puerto a utilizar y la dirección del bróker, que en este caso se encuentra conectado a la misma red Wifi que Bluee32 y la interfaz gráfica.

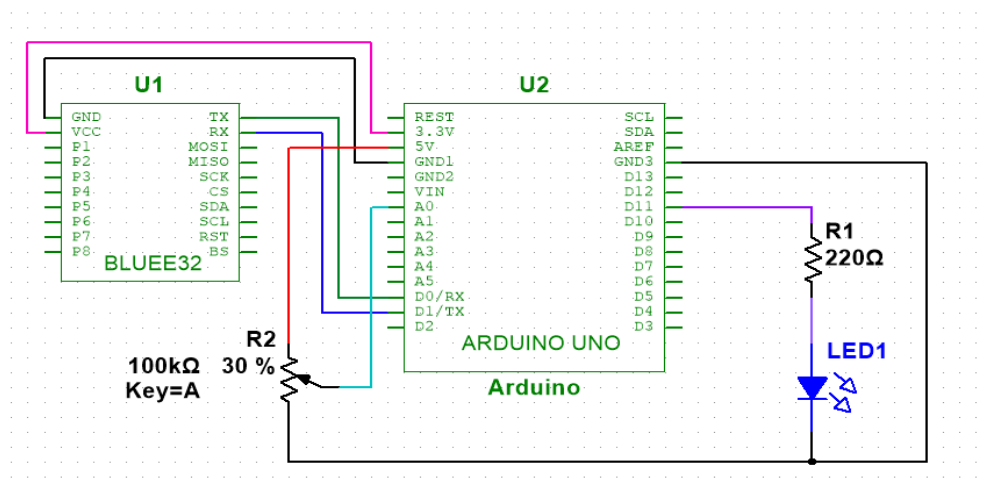


Figura 7.- Diagrama de conexión Bluee32-Arduino.

Dentro del programa de Arduino UNO se declaran las entradas y salidas, los pines por los que se comunicará con Bluee32 y se inicializa la comunicación. La salida del potenciómetro va de 0V a 5V, por lo que su lectura en una entrada analógica del Arduino UNO es codificada a un valor entero que va de 0 a 1023. El valor se guarda

en una variable de tipo entero solamente cuando este cambia, después se guarda en un objeto JSON con el nombre "pot". Con la librería de Bluee, se crea una función para la publicación MQTT del JSON con los datos del potenciómetro al tema especificado.

Para la recepción de mensajes, que en este caso es el estado del led enviado por el usuario desde la interfaz gráfica, se espera el código 245 que es el que utiliza la función `setEventCallback()` de la librería Bluee para ejecutar una función cada que reciba un mensaje por MQTT. Dentro de esa función el dato recibido se guarda en una variable de tipo string, si este contiene la palabra "ON" el led se enciende, si contiene la palabra "OFF" entonces el led se apaga.

Interfaz gráfica

El diseño de la interfaz se realizó en Qt Designer, se muestra en la Figura 8 y la identificación de sus partes. La programación de la interfaz está realizada en Python junto con la librería PyQt para programar las funciones de los elementos de la interfaz; y Paho para crear un cliente MQTT que envíe y reciba los datos del sistema físico. El cliente Paho-mqtt se crea cuando inicia la ventana de la interfaz, en ese momento igual se conecta al bróker y se suscribe al mismo tema en el que Bluee32 publica. El dato de tipo JSON recibido del Bluee32 es decodificado y escalado a un valor de tipo flotante que va de 0 a 5 que representa el voltaje de salida del potenciómetro, la cual es su naturaleza inicial, después ese valor es agregado al registro histórico de la gráfica del valor en tiempo real del potenciómetro y mostrado en la etiqueta del valor actual. Con fines de conocer la velocidad del envío y recepción de los mensajes, estos son enviados y recibidos cada vez que el ciclo del programa del publicador (Arduino-Bluee32) y del receptor (interfaz Qt y cliente Paho) es ejecutado, es por eso que en la gráfica de la Figura 8 la línea roja tiene una variación continua; la línea azul es para representar un umbral dentro de la gráfica. Los botones al ser presionados ejecutan la función de publicar un mensaje con un valor de tipo string, el botón ON envía el valor "ON" y el botón OFF envía el valor "OFF".

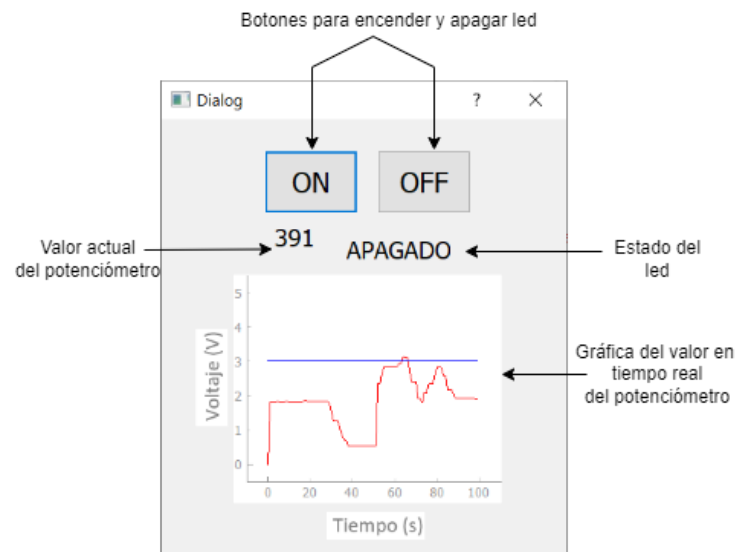


Figura 8.- Interfaz cliente MQTT.

Resultados y discusión

Envío y recepción de mensajes entre interfaz gráfica y Arduino.

Las capturas de pantalla de la Figura 9 corresponden a la interfaz gráfica de prueba ejecutándose en una laptop, y la otra en la Raspberry Pi. El estado del led se actualiza en las dos interfaces en cuanto es oprimido uno de los botones de cualquier interfaz, esto quiere decir que las dos ventanas se comunican satisfactoriamente. Para tener

un registro de los mensajes publicados, se abrió una terminal dentro de la Raspberry Pi con un suscriptor del mismo tema que el de las interfaces.



Figura 9.- Comunicación MQTT entre dos computadoras.

La Figura 10 es una captura de pantalla del desempeño de la comunicación entre la interfaz gráfica y Arduino-Bluee32. En esta captura el estado del led es apagado, puede notarse porque el led se encuentra apagado y en el indicador de la interfaz también dice apagado. En la ventana IDLE Shell se imprimen los mensajes recibidos del Arduino-Bluee32 que son datos tipo JSON, se puede distinguir que los datos de la ventana son correspondientes a la gráfica de la interfaz y al valor actual del potenciómetro, por lo que puede concluirse que la comunicación funciona correctamente.

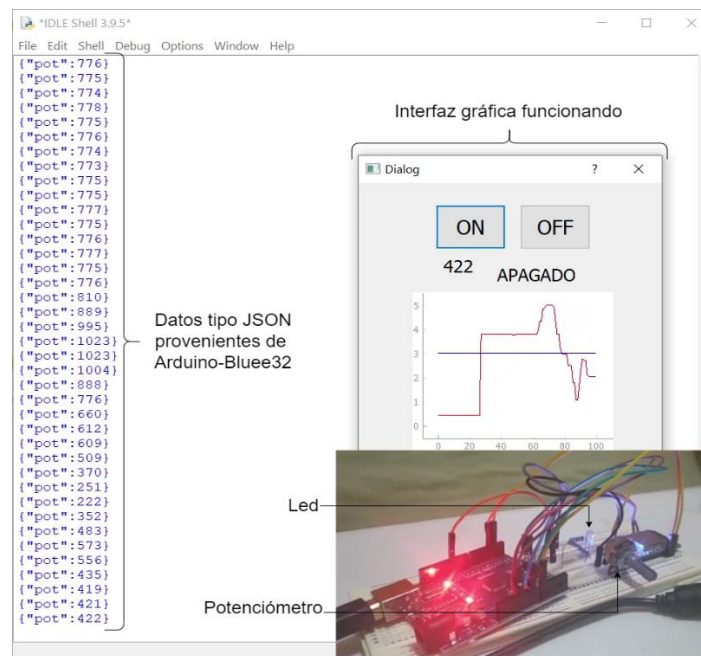


Figura 10.- Comunicación MQTT entre interfaz gráfica y Arduino-Bluee32.

Tiempo en el envío y recepción de datos

Se realizó un experimento para saber el tiempo que se tarda un dato de tipo string en ser enviado desde la interfaz al Arduino UNO y regresar a la interfaz gráfica y mostrarlo. La variable string contiene la hora en que se está enviando el mensaje en el formato AAAA-MM-DD hh:mm:ss.000 se publica al tema que está suscrito Arduino-Bluee32, lo guarda en una variable y lo vuelve a publicar para ser recibido por la interfaz nuevamente y se guarda la hora en que fue recibido en otra variable. En la Figura 11 se grafica el resultado de 50 muestras, siendo el tiempo mínimo igual a 0.24 segundos, el tiempo máximo alcanzado igual a 1.38, y se obtuvo una media aritmética igual a 0.53 segundos.

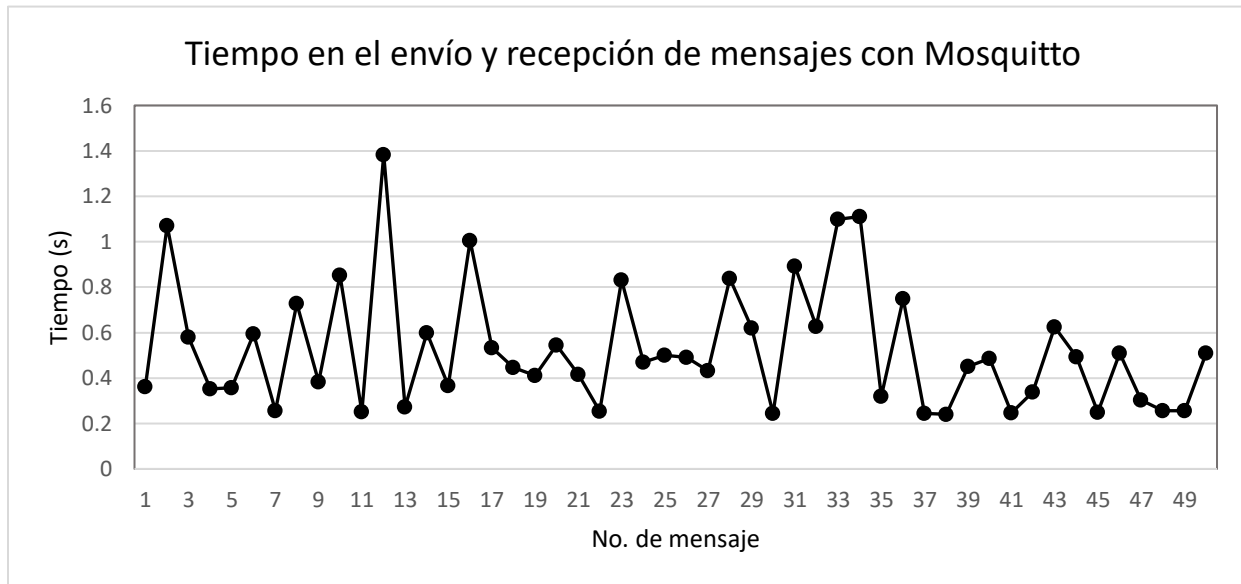


Figura 11.- Gráfica del tiempo de envío y recepción de mensajes.

Otro experimento realizado constó de enviar el valor de un potenciómetro dentro de un JSON desde el Arduino UNO a la interfaz dentro de una variable de tipo JSON. La interfaz logró recibir e imprimir 337 mensajes en 1 minuto.

Trabajo a futuro

Para trabajos a futuro se planea conectar uno o más sistemas de control completos como sistema físico, poder monitorearlo y controlarlo en cualquier parte del mundo de forma remota en tiempo real, para esto se tiene pensado instalar un bróker en la nube como la de AWS o Google Cloud. También será necesario realizar un diseño de la interfaz y programación más robustos para evitar fallas en el envío y recepción de datos, así como la seguridad en la red; [6] otorga algunas recomendaciones para la seguridad de los datos, aunque no son normativas, por ejemplo: cifrar el mensaje, autenticación de clientes por parte del servidor, autenticación del servidor por parte del cliente, certificados TLS, entre otros.

Conclusiones

En el presente artículo se realizó una comunicación MQTT entre una interfaz gráfica desarrollada con PyQt y un Arduino UNO utilizando como puente de comunicación el dispositivo Bluee32, como bróker se implementa una Raspberry Pi con Mosquitto; con el propósito de controlar actuadores y monitorear sensores de un sistema físico.

Los resultados obtenidos de los experimentos del funcionamiento y la medición de velocidad del envío y recepción de mensajes entre la interfaz gráfica y Arduino-Bluee32, permiten demostrar que mediante los elementos integrados se obtiene la velocidad suficiente en el envío y recepción de mensajes para el monitoreo y control de sensores y actuadores respectivamente de una planta de forma remota. La implementación de la Raspberry Pi junto con Mosquitto como bróker MQTT resulta ser una opción viable para el desarrollo en el control remoto y la telemetría, ofrece la posibilidad de desarrollar proyectos IoT con escalabilidad como pueden ser aplicaciones de trabajo cooperativo de forma remota, por ejemplo, sistemas de capacitación y laboratorios virtuales con uso de sistemas dinámicos en tiempo real.

Referencias

- [1] D. Raposo, A. Rodrigues, S. Sinche, J. Sá Silva y F. Boavida, «Industrial IoT Monitoring: Technologies and Architecture Proposal,» *Sensors*, vol. 18, nº 10, 2018.
- [2] D. B. Correia Lima, R. M. Brasil da Silva Lima, D. de Farias Medeiros, R. I. Soares Pereira, C. Protasio de Souza y O. Baiocchi, «A Performance Evaluation of Raspberry Pi Zero W Based Gateway Running MQTT Borker for IoT,» *IEEE 10th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, pp. 76-81, 2019.
- [3] M. Cruz Vega, P. Oliete Vivas, C. Morales Rios, C. González Luis, B. Cendón Martín y A. Hernández Seco, *Las tecnologías IOT dentro de la industria conectada: Internet of things*, Madrid: Fundación EOI, 2015.
- [4] Bluee, «Bluee IoT Framwork,» 2021.
- [5] B. Mishra, «Performance Evaluation of MQTT Broker Servers,» *Computational Science and Its Applications – ICCSA*, vol. 10963, pp. 599-609, 04 Julio 2018.
- [6] O. M. T. Committee., «MQTT Specifications,» 2022.
- [7] M. J. da Cunha, M. Barros de Almeida y R. F. Fernandes Júnior, «Proposal for an IoT architecture in industrial,» *12th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)*, pp. 1-7, 2016.
- [8] Y. G. Geovanni, G. Salazar y T. Guarda, «Comparative Performance Analysis between MQTT and CoAP Protocols for IoT with Raspberry PI 3 in IEEE 802.11 Environments,» *5th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, pp. 1-6, 2020.

Problemas de calidad de energía en el hospital ISSSTECALI del sector salud en Mexicali, Baja California, México

Adán Alberto Jumilla Corral, Zulma Yadira Medrano Hurtado, Pedro Mayorga Ortiz, Hernán Magaña Almaguer, Mario Alberto Carrillo

alberto.jumilla@itmexicali.edu.mx, zulmamh@itmexicali.edu.mx, mayorga@itmexicali.edu.mx, maganahernan@itmexicali.edu.mx, mario.camarillo@itmexicali.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Resumen

En el presente trabajo se realizó un estudio de calidad de la energía, en el hospital ISSSTECALI del sector salud de Mexicali, BC México. Para determinar los parámetros de compatibilidad energética, lográndose identificar su presencia y origen. Los resultados obtenidos fueron que los problemas de calidad de la energía no resultaron de las cargas provenientes del equipo médico sensible del usuario, sino que el origen de dichos disturbios se localiza en las malas condiciones de las instalaciones eléctricas hospitalarias.

Palabras clave: Calidad de la energía eléctrica, equipo médico sensible, compatibilidad electromagnética, suministro eléctrico

Abstract

In the present work, a study of power quality issues was carried out at the ISSSTECALI hospital in the health sector of Mexicali, B.C., Mexico. To determine the energy compatibility parameters, being able to identify their presence and genesis. The results obtained were that power quality issues did not result from the loads coming from the user's sensitive medical equipment, but that genesis of said disturbances must be located in the poor conditions of the hospital electrical installations.

Key words: Power quality, sensitive medical equipment, electromagnetic compatibility, power supply

Introducción

Cuando hablamos de calidad de la energía eléctrica, es de suma importancia definir adecuadamente a que se refiere dicha terminología. La energía eléctrica es entendida como la capacidad que tiene un flujo de electrones impulsados por una diferencia de potencial de realizar un trabajo durante un tiempo determinado [1]. Por otro lado, el término calidad describe al conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confieren capacidad de satisfacer necesidades, gustos y preferencias, y de cumplir con las expectativas del consumidor [1]. Por lo que podemos definir por *calidad de la energía eléctrica* al conjunto de propiedades y características del suministro eléctrico que satisfacen las necesidades del usuario [2], [3].

Los dispositivos eléctricos han evolucionado desde su aparición hasta nuestros días, desde los constituidos por los elementos eléctricos básicos (resistencias, inductores y capacitores), los cuales podemos considerar como elementos robustos, hasta las tecnologías basadas en micro y nano componentes electrónicos, cuya característica de complejidad y sensibilidad los hacen extremadamente delicados y vulnerables a problemas de suministro y operación eléctrica, situaciones que anteriormente pasaban desapercibidas. Basado en esto, podemos analizar las consecuencias que tiene sobre las cargas de una instalación, el utilizar energía eléctrica de mala calidad [4].

Los parámetros en que se manifiestan los problemas de calidad de la energía y los relaciona con el mal funcionamiento y fallas de los equipos, se dividen en dos grandes grupos:

1. *Aquellos que se definen por su magnitud y tiempo de duración:* transitorios de tensión - impulsivos y oscilatorios-, variaciones de tensión a frecuencia del sistema como depresiones de tensión (sags) y (swells), interrupciones, parpadeo y desbalance.
2. *Los que son caracterizados por la distorsión en la forma de onda:* armónicas, interarmónicas, desplazamiento de corriente directa (dc offset), muescas y ruido.

Además de las variaciones en la frecuencia de la tensión de alimentación [5], entre otras.

Los efectos sobre los equipos alimentados con una mala calidad de la energía, son definidos en el estándar del Instituto d Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, por sus siglas en inglés) 1159-2009 [7].

Los problemas de calidad de la energía pueden ser adjudicados tanto a las compañías suministradoras de energía eléctrica (descargas atmosféricas sobre las líneas eléctricas, cortocircuitos y recierre de interruptores), así como a los usuario de la misma, ya que algunos de sus equipos contribuyen a generar disturbios dentro de sus instalaciones o en las de otros usuarios (variadores de velocidad, entrada de grandes cargas, hornos de inducción, computadoras, rayos X, entre otros). Es decir la responsabilidad de mantener los estándares adecuados en el suministro eléctrico recae tanto en el usuario como en el proveedor del servicio.

Se desarrolló un método sistemático para la medición y caracterización de los problemas de compatibilidad electromagnética, cuyos objetivos son: identificar los problemas de calidad de la energía eléctrica dentro de las instalaciones de los hospitales del sector público en la ciudad de Mexicali, B.C., así como determinar sus orígenes. Para asegurar el adecuado funcionamiento de los equipos médicos sensibles en el área de alta especialidad, y así evitar fallas tempranas, prolongar la vida útil además aumentar la disponibilidad de los equipo, para con ello brindar un servicio de calidad, adecuado y a tiempo a los usuarios.

Metodología

La investigación se desarrolló en las instalaciones del hospital SSSTECALI del sector salud en la ciudad de Mexicali, B. C., México. Estas instalaciones cuentan con una superficie de 9.188 metros cuadrados (m^2). El sistema eléctrico está conformado por una red propia en media tensión cuyas características son: 34.500 volts, 3 fases (3ϕ), 3 Hilos (3H), y un sistema de medición en media tensión. La red interna se alimenta a través de tres transformadores trifásicos (3TR 3ϕ) reductores, dos de 500 kVA y el tercero de 225 kVA, los tres con un voltaje primario de 34.500 volts y en el lado secundario (lado de carga) de 220/127 volts, conexión delta estrella (Δ -Y) en todos los casos. El servicio eléctrico del hospital está contratado en tarifa HM (para demandas mayores de 100 kW), tiene una carga conectada de 414 kW y una demanda contratada de 412 kW. La carga reactiva inductiva se mantiene dentro de los parámetros comprendidos entre 0,92 en los meses de verano y 0,97 en los de invierno, mediante el uso de bancos de capacitores.

Las cargas eléctricas están conformadas en su mayoría por equipos de aire acondicionado, sistemas de bombeo de agua, bombas contra incendio y compresores de aire. Los sistemas de alumbrado son del tipo fluorescente, así como equipo de oficina (computadoras, impresoras, fotocopiadores, etc). El hospital cuenta con equipo médico de alta especialidad tales como rayos X, fluoroscopia, tomógrafo y resonancia magnética.

Se utilizó un analizador de redes eléctricas 3ϕ de la marca Fluke, modelo 434, (el cual contempla los límites recogidos en la normativa EN50160) para llevar a cabo el monitoreo de las instalaciones.

La metodología para medir y caracterizar los problemas de compatibilidad electromagnética son:

1. Selección del sujeto de estudio.
2. Establecimiento de los objetivos del estudio.
3. Reconocimiento previo de la instalación.
4. Selección de los equipos de medida adecuados y su ubicación.
5. Monitoreo y recolección de los datos necesarios.

Desarrollo

Del hospital, se obtuvo la información relacionada con las instalaciones eléctricas (planos de diagramas unifilares, planos de instalaciones eléctricas), facturación de consumo eléctrico e información diversa sobre los equipos.

Se analizó el diagrama unifilar, y planos eléctricos generales, se recolectó la información relacionada con los problemas y funcionamiento inadecuado de equipos y sistemas, se realizó una revisión exhaustiva en compañía del personal del departamento de mantenimiento y servicios generales por las instalaciones eléctricas del

hospital, con la finalidad de conocer la estructura y las condiciones generales del sistema eléctrico, comenzando desde las subestaciones eléctricas, tableros principales y derivados, equipos de alta especialidad y sistemas de tierras.

Con esta información se seleccionaron las áreas de monitoreo, las cuales fueron: nodo principal del circuito alimentador a equipos de alta especialidad, fluoroscopio, rayos X, tomografía y resonancia magnética. Se realizó la captura de la información para posteriormente llevar a cabo el análisis del problema, localizar sus causas y aportar posibles soluciones. El analizador de redes fue programado seleccionando la opción “monitor”, la cual permite comprobar si los parámetros básicos de calidad eléctrica se ajustan a los requisitos de la norma EN 50160. Dichos parámetros incluyen:

1. Tensiones eficaz (rms, por sus siglas en inglés),
2. Armónicos,
3. Parpadeo (Flicker),
4. Caídas/Interrupciones/Cambios rápidos de voltaje/Swell/Sag
5. Desequilibrio / Frecuencia

Resultados y discusión

Las caídas de tensión rms de corta duración (producidas en un lapso de tiempo de 0,5 ciclos de la frecuencia de trabajo a un minuto), son conocidas como sags o dips y se expresan en valor por unidad (pu) que representa la relación entre la cantidad y la cantidad base, con valor comprendidos entre 0,1 y 0,9 pu. Constituyen el problema más frecuente sobre calidad de la energía que enfrentan los usuarios del servicio eléctrico [6].

Durante el monitoreo del nodo principal y otros circuitos hacia equipos médicos altamente especializados, se registraron descuelgues. La Figura 1, muestra una de estas perturbaciones. En la imagen la barra roja muestra el registro del sags.



Figura 1. Sags capturadas por el analizador de redes eléctricas.

La Figura 2, relaciona los dos eventos ocurridos en el punto de medición, con las curvas de tolerancia CBEMA (Asociación de Fabricantes de Equipos Comerciales de Computación) e ITIC (Consejo de la Industria de Tecnologías de la Información) [7].

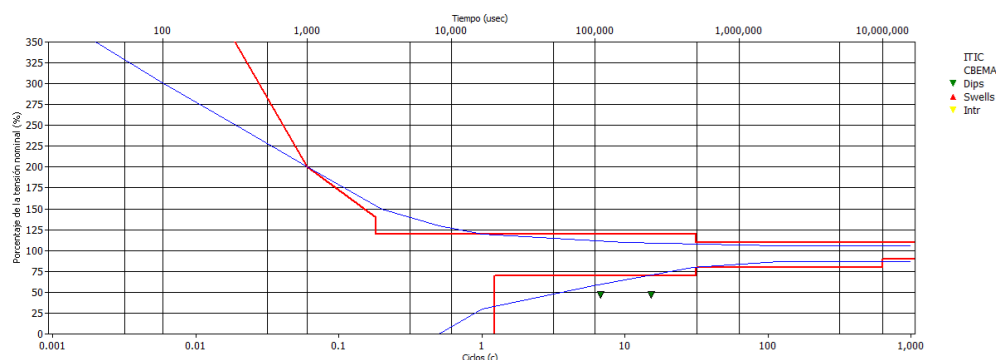


Figura 2. Pantalla mostrando los sags referenciados a las curvas ITIC y CBEMA.

Estas curvas consideran tres regiones fundamentales: la primera zona comprendida en la parte superior de las gráficas conocida como *región prohibida* la cual se caracteriza por establecer los parámetros de elevación de la tensión y tiempo en donde los equipos referenciados pueden llegar a sufrir daños, la segunda zona llamada *región de operación* se encuentra situada entre los límites superior e inferior de las curvas en ella los equipos funcionarán en forma adecuada mientras los parámetros de la tensión de suministro estén en magnitud y tiempo dentro de dichos límites y la tercera zona llamada *de no daño* comprendida por debajo del límite inferior de ambas curvas define el área en la que los parámetros de tensión aplicados a los equipos raramente ocasionan daños a los mismos, pero no garantizan el buen funcionamiento de estos o la reducción su vida útil por acumulación de eventos. Se observa que los eventos ocurridos se sitúan en la región de no daño [5].

La tabla 1, muestra los diversos sags capturadas durante el periodo de monitoreo.

Tabla 1 Relación de sags, en las instalaciones del hospital.

Evento	Descripción	Duración	Magnitud	Ubicación
1	Hundimiento	254ms _	106,71 V	Nodo
2	Hundimiento	254ms _	109,35 V	Nodo
3	Hundimiento	254ms _	107,11 V	Nodo
4	Hundimiento	-----	108,79 V	Nodo
5	Hundimiento	109ms _	107,68 V	Nodo
6	Hundimiento	109ms _	110,16 V	Nodo
7	Hundimiento	109ms _	108,00 V	Nodo
8	Hundimiento	067 ms	091,80V	Nodo
9	Hundimiento	201ms _	069,60 V	Nodo
10	Hundimiento	084ms _	037,50 V	Nodo
11	Hundimiento	084ms _	102,46 V	Nodo
12	Hundimiento	084ms _	108,19 V	Nodo
13	Hundimiento	113ms _	125,50 V	fluoroscopia
14	Hundimiento	014 ms	179,30 V	fluoroscopia
15	Hundimiento	024ms _	175,20 V	fluoroscopia
16	Hundimiento	076ms _	099.80V	fluoroscopia
17	Hundimiento	014 ms	194,90 V	Resonancia
18	Hundimiento	170ms _	125,20 V	Resonancia
19	Hundimiento	025ms _	088,50 V	Radiografía
20	Hundimiento	067 ms	054,20 V	Radiografía

Al analizar los valores de las corrientes en cada una de las fases, en el momento del sag, estas presentan valores por debajo del promedio en todos los casos. Con referencia a la Guía Fluke [8], al supervisar la tendencia de la corriente y la tensión en la entrada de servicio de la potencia, se puede averiguar si la causa de una baja de tensión se encuentra dentro o fuera del edificio que alberga a las instalaciones eléctricas. La causa está en el interior del edificio (descendente) si la tensión cae mientras la corriente aumenta; y está fuera (ascendente) si tanto la tensión como la corriente caen. En este caso los dos eventos registrados tienen su origen fuera de las instalaciones del hospital.

Las variaciones de larga duración en el voltaje, están definidos por la IEEE como variaciones de voltaje a frecuencia del sistema, que se presentan en lapsos de tiempo mayores a un minuto. Estas desviaciones pueden ser swells o sags; con valores entre 1,1 y 1,2 pu para los primeros y valores entre 0,8 y 0,9 pu para los segundos [3].

Generalmente este tipo de perturbaciones tienen su origen en la conmutación de grandes cargas, o en la conmutación de bancos compensadores de reactivos (bancos de capacitores), pobre regulación del sistema eléctrico, circuitos sobrecargados o mal uso de las derivaciones o configuración de los transformadores [5].

La Figura 3, muestra las fluctuaciones de voltaje encontradas, y la Figura 4, muestra los valores de tensión en el circuito que alimenta al equipo de resonancia magnética.

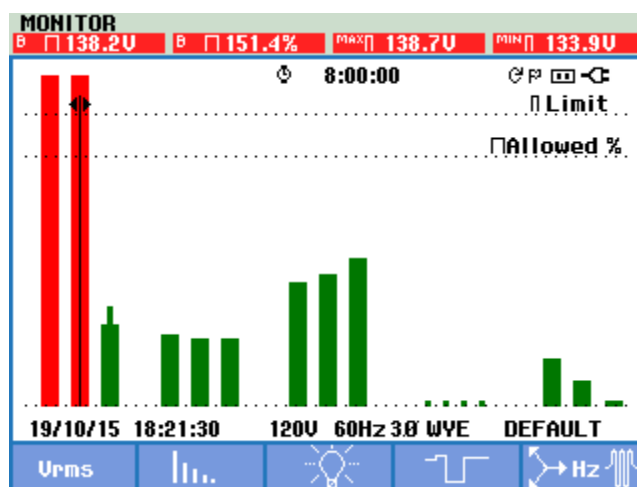


Figure 3. Variaciones de voltaje en el equipo de resonancia magnética.

Voltios/Amperios/Hz				
	A	B	C	N
Urms	88.4	136.7	119.6	2.6
Vpk	125.0	197.3	169.2	4.1
CF	1.41	1.44	1.41	1.55
Hz	59.96			
	A	B	C	N
Arms	10	11	12	0
Apk	20	23	20	1
CF	1.96	2.14	1.73	OL
20/10/15 14:46:14 120V 60Hz 3Ø WYE DEFAULT				
VOLTAGE			TREND	HOLD RUN

Figure 4. Pantalla de los valores de las variaciones de voltaje en el equipo de resonancia magnética.

La Figura 3, muestra la pantalla principal del modo "Monitor", del analizador de redes Fluke 434, donde las barras en color rojo indican la presencia de variaciones de voltaje de larga duración (específicamente en las fases A y B), la Figura 4 muestra los valores de tensión y corriente, donde se puede observar la diferencia entre las tres fases referenciadas a neutro en la fase A (valores de 88,4V y 10A), fase B (136,7V y 11A) y fase C (119,6V y 12A) respectivamente.

Con la información anterior, se procedió a la revisión física del TR seco que alimenta al equipo de resonancia magnética, encontrándose que la conexión del mismo era en una configuración Δ - Δ , sin terminal de neutro, por lo que no se contaba con la derivación de un conductor puesto a tierra para alimentar las cargas monofásicas. Debido a que el equipo de resonancia magnética cuenta con dispositivos conectados en configuración 1 ϕ a 2H -fase/neutro-, y a la falta un conductor puesto a tierra en el sistema de alimentación, se presentan corrientes desbalanceadas y los voltajes sufren de variaciones de estado estable.

Para tratar de solucionar estos problemas, se adquirió y conectó un nuevo transformador con conexión Δ -Y, el cual permite alimentar cargas monofásicas.

Las armónicas son descritas como voltajes o corrientes senoidales con frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia del sistema (llamada frecuencia fundamental) [9]. Las armónicas de voltaje y de corriente combinadas con la frecuencia fundamental, producen distorsión en la forma de onda. Este fenómeno es producido por cargas no lineales (electrónica de potencia, núcleos magnéticos saturados, equipo de procesamiento de datos, entre otros), y sus características están definidas en estándares de IEC e IEEE [3].

Los equipos médicos de alta especialidad cuentan con tecnología basada en dispositivos electrónicos no lineales, por lo que la operación normal de estos dispositivos genera distorsión armónica de corriente. La Figura 5, muestra las formas de onda de corriente y voltaje en el equipo de resonancia magnética.

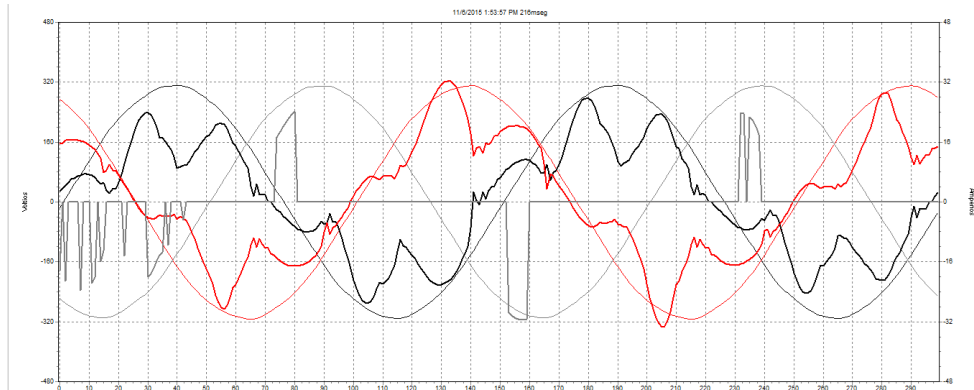


Figure 5. Gráficas de voltaje y corriente del equipo de resonancia magnética.

La Figura 5, muestra las formas de ondas de corriente con distorsión, mientras el voltaje mantiene su forma senoidal casi perfecta en las 3 ϕ .

La Figura 6, detalla las aportaciones de diversas armónicas de corriente, que en conjunto tienen un valor de distorsión total armónica de corriente (THD_i), de 46,5%, las Figuras 7 y 8 muestran los porcentajes de distorsión total armónica de voltaje (THD_v) en el equipo de resonancia magnética y en el nodo principal de alimentación; dichos porcentajes se encuentran entre el 1,7%, en el equipo y menos del 1,15% en el nodo.

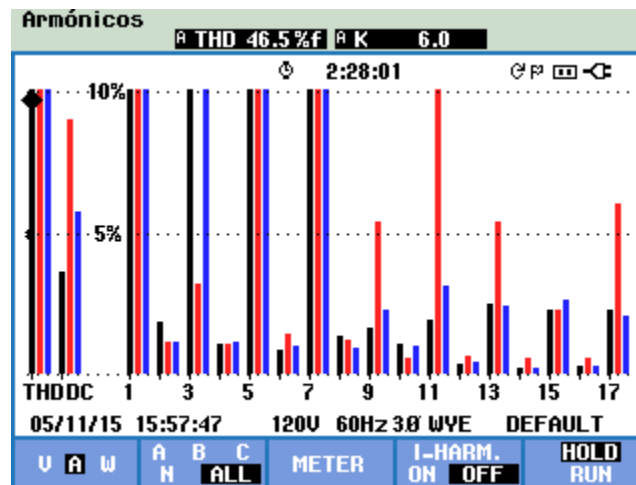


Figura 6. Distorsión armónica total de corriente en el equipo de resonancia magnética.

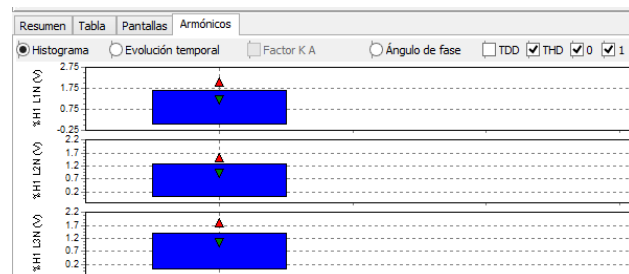


Figura 7. Distorsión armónica total de voltaje por fase en el equipo de resonancia magnética.

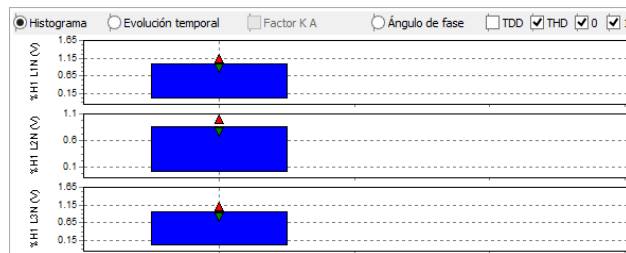


Figura 8. Distorsión armónica total de voltaje por fase en el nodo principal de alimentación.

El estándar de la IEEE 519-2014, especifica los límites (en %) de la THD_v (para nuestro caso es del 5%), así como la de THD_i (cuyos valores dependen la relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente nominal en el punto de interés) [10].

A pesar del alto contenido de distorsión armónica de corriente la forma de onda de voltaje en la instalación no se ve afectada por este problema de calidad de la energía eléctrica, debido a que el sistema se encuentra trabajando a menos del 36% de su capacidad instalada, a la adecuada distribución de las cargas, la baja potencia de los equipos, así como a la robustez del sistema originado del diseño de los circuitos alimentadores y derivados. El estado del sistema eléctrico, se encuentra con una estructura eléctrica bien distribuida (con configuración tradicional conformada por interruptores generales e interruptores derivados conectados mediante barraje unitario contenido en ducto metálico) y eléctricamente robusto.

Se encontraron instalaciones y equipo con más de 25 años de servicio, que denotaban el desgaste por operación y por mantenimiento insuficiente e inadecuado. Las ampliaciones y remodelaciones fueron efectuadas sin contar con un proyecto ejecutivo que tomara en cuenta las afectaciones que pudieran causar a las instalaciones existentes, así como carencia de diagramas unifilares actualizados. Varios alimentadores muestran deterioro en el aislamiento de los conductores, causado por uso normal de los mismos, calentamiento por sobrecarga y por falta de torque en las terminales (Figura 9).

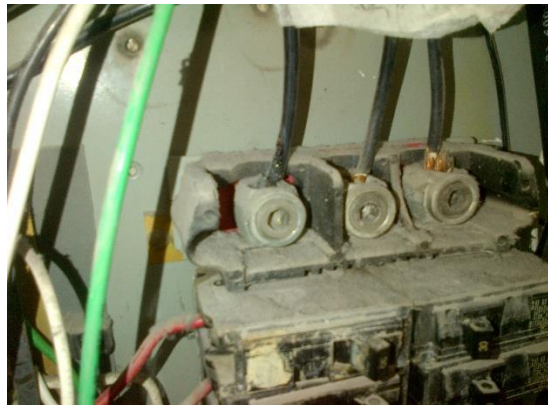


Figura 9. Conductores con aislamiento deteriorado (alimentador a centro de carga derivado).

Se observó el desconocimiento de las características del sistema general de tierra, así como el estado del mismo; esto debido a las múltiples ampliaciones y modificaciones realizadas en las instalaciones del hospital, que han ocasionado que conductores, electrodos y registros (puntos de acceso) quedaran bajo losas de concreto obstaculizando el acceso, revisión y mantenimiento, por lo que el personal de las diversas áreas desconocían la localización de los electrodos de puesta a tierra, teniendo como práctica común, el instalar nuevos electrodos para cada nuevo equipo que lo requiriera, sin conexión al sistema principal.

En la mayoría de las ocasiones se terminó teniendo un equipo conectado a dos o más sistemas de tierra con diferentes planos de referencia. En las instalaciones también se encontró, que en los circuitos que alimentan a los equipos de monitoreo e imagen, carecían de su conductor físico de puesta a tierra y en la mayoría de las ocasiones el único medio de puesta a tierra que existía era la propia canalización del circuito eléctrico, y cuando se contaba con dicho conductor, generalmente estaba aterrizado en diferentes puntos de la instalación, independiente de los conductores del sistema general de tierra (Figura 10).

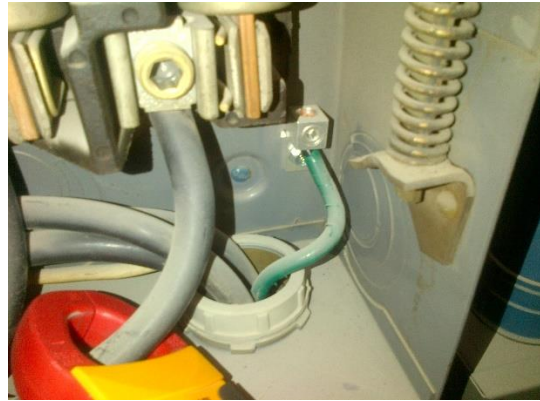


Figura 10. Conductor de puesta a tierra sin continuidad hacia el equipo de fluoroscopia.

Conexiones entre neutro y tierra aguas abajo del único punto posible donde puede haberlas que es denominado punto de acoplamiento común (Pcc), la existencia de neutro multiaterrizado es otro problema común dentro de esta instalación, provocando la circulación de corrientes de operación en conductores de puesta a tierra de equipos y envolventes. Por otro lado, la falta de conexión del neutro a tierra (neutro flotante) también presente en circuitos que alimentan cargas monofásicas, ocasiona variaciones de voltaje en los equipos (Figura 11).

Voltios/Amperios/Hz				
	A	B	C	N
V _{rms}	91.2	141.7	126.4	0.0
V _{pk}	130.1	205.1	179.3	0.0
CF	1.43	1.45	1.42	OL
Hz	60.01			
	A	B	C	N
A _{rms}	9	11	12	0
A _{pk}	19	22	22	1
CF	2.05	2.06	1.88	OL
05/11/15 10:29:47 120V 60Hz 3Ø WYE DEFAULT				
VOLTAGE			TREND	HOLD RUN

Figura 11. Variaciones de voltaje debido a neutro flotante en equipo de Resonancia Magnética.

Al término del proceso de revisión de las instalaciones del hospital y el análisis del monitoreo de los puntos seleccionados, se establecen las siguientes conclusiones:

1. Se capturaron una serie de sags, todos ellos provenientes del organismo suministrador CFE, esta afirmación se soporta según lo descrito en el capítulo #9 de la Guía Fluke 433/434 "Fluctuaciones"; en la que se determina que si tanto la tensión como la corriente caen al momento de ocurrido el evento, la causa estará fuera del edificio. Este tipo de perturbaciones pueden llegar a provocar fallas, mal funcionamiento o daño a los equipos médicos sensibles, dependiendo de la continuidad y severidad de dichos disturbios [8].

Entre los posibles efectos que pueden ocasionar este tipo de perturbaciones de calidad de la energía [8], se encuentran:

- Sobrecalentamiento de motores.
 - Fallos en computadoras.
 - Salida de impulsores de velocidad ajustables (ASD), controladores lógicos programables (PLCs), sistemas robóticos y todo aquel equipo basado en el uso de microprocesadores.
 - Baja intensidad o reencendido de sistemas de alumbrado.
 - Salida de relevadores y contactores de motores.
2. Los equipos de alta especialidad dentro del hospital tales como, fluoroscopio, tomógrafo, resonancia magnética, rayos X, generan gran cantidad de distorsión armónica de corriente, derivado del funcionamiento

normal de estos equipos; pero debido a las bajas potencias de estos dispositivos y a la solidez y robustez del sistema eléctrico del hospital (ya que se cuenta con una distribución adecuada de las cargas en las tres subestaciones existentes y alimentadores eléctricos de sobrada capacidad), aunado a la baja demanda registrada (el sistema presenta una demanda máxima total de 411 kW), la distorsión armónica de corriente no genera alteraciones en el funcionamiento de los demás sistemas y equipos eléctricos dentro del nosocomio, manteniéndose la distorsión armónica de voltaje (THDv) dentro de los parámetros aceptados por los estándares de la IEEE (menor al 5%); así como la no existencia dentro del sistema eléctrico de sags generados desde el interior de las instalaciones [10].

3. Al revisar físicamente las instalaciones eléctricas del hospital, se encontró que estas tienen más de 25 años de servicio, por lo que el paso del tiempo y el uso de las mismas han deteriorado en mayor o menor grado a estas instalaciones. Se encontraron conductores eléctricos cuyo aislamiento está comprometido debido al calentamiento provocado por sobrecargas, cortocircuitos o simplemente por el deterioro natural por el uso prolongado de estos elementos (la falta de ajuste de las terminales de conexión es otro factor a tomar en cuenta para justificar el mal estado de los conductores).
4. La inadecuada conexión de los conductores puestos a tierra (neutro), es otro problema que se presenta en forma recurrente en esta instalación. Este tipo de anomalías puede caracterizarse por la falta de dicho conductor en el alimentador a equipos o sistemas que lo requieren, la no conexión a tierra del mismo (neutro flotante), o su conexión en varios puntos de la instalación en forma inadecuada (neutro multiaterrizado). Por otro lado, los sistemas de puesta a tierra presentan problemas desde su diseño, implementación y uso del mismo; la falta de un anillo equipotencial y la utilización de electrodos aislados por la poca o casi nula accesibilidad a los sistemas generales de tierra de ambas subestaciones (según la NOM-001-SEDE-2012, todos los sistemas de tierra, fuerza, alumbrado, comunicaciones, computo, etc, deben estar unidos formando un sistema equipotencial), pueden llegar a provocar diversos problemas en las instalaciones y/o equipos tales como [5], [11]:
 - Bloqueo de sistemas de información, errores y pérdida de datos, daño de componentes.
 - Disparo de relevadores de falla a tierra en los dispositivos de seguridad (GFR), disparo de interruptores de circuito, falla en la operación por puesta a tierra deficiente.
 - Mala operación y daño de los equipos sensibles.
 - Voltajes desbalanceados (en el caso de neutros flotantes).
 - Corrientes de operación por conductores de puesta a tierra (neutro multiaterrizado).
 - Condiciones inseguras para la operación de equipos y sistemas eléctricos.
5. Otro aspecto a tomar en cuenta, se relaciona con lo referente a las especificaciones del fabricante en cuanto a los sistemas de alimentación a los equipos, en donde tanto la configuración (1F-2H, 1F-3H, 3F-3H, 3F-4H, etc.), así como los niveles de voltaje, juegan un papel importante en el adecuado funcionamiento de las cargas (sobre todo de aquellas consideradas como sensibles a perturbaciones electromagnéticas). Un ejemplo de la importancia de esto, es el inadecuado sistema de alimentación hacia el equipo de Resonancia Magnética (3F-3H), el cual requería un sistema 3 ϕ 4H para su correcto funcionamiento.
6. Debido también a las múltiples ampliaciones y modificaciones realizadas en este hospital, encontramos convivencia de cableado de voz y datos con cableado de potencia en las mismas canalizaciones y/o registros, y a pesar del cuidado que se ha tenido en separar de manera adecuada las diferentes tipos de cargas, se localizaron cargas sensibles y equipo de fuerza (bombas de agua y compresores de aire), conectadas a un mismo nodo.
7. Otro de los aspectos importantes observados durante la revisión de las instalaciones eléctricas, fue que en varias de ellas no se cumple con lo estipulado en las normatividades aplicables vigentes.

Resultados y Discusión

Al término del proceso de revisión de las instalaciones del hospital y el análisis del monitoreo de los puntos seleccionados, se establecen las siguientes conclusiones:

- Todos los sags capturados provenientes del organismo suministrador CFE.
- Los equipos de alta especialidad dentro del hospital (fluoroscopio, tomógrafo, resonancia magnética, rayos X) son los principales generadores de distorsión armónica de corriente.
- Instalaciones eléctricas con más de 25 años de servicio.
- Inadecuada conexión de los conductores puestos a tierra (neutro).
- Convivencia de cableado de voz y datos con cableado de potencia en las mismas canalizaciones y/o registros

- Cargas sensibles (fluoroscopio, tomógrafo, resonancia magnética, rayos X) y equipo de fuerza (bombas de agua y compresores de aire), conectadas a un mismo nodo.
- Falta de cumplimiento de las normatividades aplicables vigentes en las instalaciones eléctricas.

Recomendaciones

Basándonos en las conclusiones anteriores, se exponen las siguientes recomendaciones para mejorar las condiciones del sistema eléctrico del hospital en cuanto a la calidad de la energía:

1. Relacionado con los sags, la protección contra este tipo de disturbios puede ser aplicada ya sea, en el lado del suministrador o en el lado del usuario.
 - a) En el lado del suministrador -Comisión Federal de Electricidad-, se recomienda establecer comunicación con el organismo suministrador indicando los resultados del estudio.
 - b) En el lado del usuario, se deberán utilizar las siguientes tecnologías para resguardar a las cargas más sensibles o importantes [5]:
 - i. Uso de reguladores electrónicos.
 - ii. Reguladores de control electromagnético.
 - iii. Reguladores ferroresonantes.
 - iv. Fuentes de potencia ininterrumpibles (UPS).
2. En referencia a la distribución de los sistemas eléctricos se recomienda la separación de las cargas contaminantes de las cargas sensibles, así como la separación de instalaciones de voz y datos de las eléctricas, protección y la puesta a tierra de los mismos. Respetando en todo momento las normatividades existentes y aplicables.
3. El tiempo de operación y uso de los sistemas eléctricos (más de 25 años), tiene un gran peso al momento de realizar el mantenimiento ya sea correctivo, preventivo o predictivo debiendo ser adecuado, suficiente y oportuno, sobre todo en aquellos equipos o sistemas que tienen mayor importancia para la adecuada operación del hospital y de los servicios que en él se prestan.
4. En cuanto a la distribución y manejo de las cargas en el sistema eléctrico (para no comprometer la estabilidad y robustez con que se cuenta en este hospital), se recomienda que todas las ampliaciones o modificaciones en las instalaciones sean realizadas en forma adecuada y ordenada, teniendo en cuenta la necesidad de planear (mediante la elaboración de proyectos ejecutivos que involucren equipos interdisciplinarios), toda actividad sobre dichas instalaciones contando con la colaboración de personal especializado en el área eléctrica.

Bibliografía

- [1] Mejora de la confiabilidad en el edificio Valdez Vallejo de la UNAM. Capítulo 2. Calidad de la energía. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/288/5/A5.pdf>
- [2] C. Sankaran . Calidad de la energía. EE.UU. CRC Press LLC, 2002, 202p.
- [3] IEEE Power & Energy Society. IEEE Std 1159-2009, Práctica recomendada para monitorear la calidad de la energía eléctrica. Estados Unidos 2009, 81p.
- [4] Roger C. Dungan , Mark F. Mc. Granaghan , [el.al]. Calidad de los Sistemas Eléctricos de Potencia. 2ª ed. Estados Unidos Mc. Graw Hill, 2002, 528p.
- [5] Miguel Ángel Sánchez Cortés. Calidad de la Energía Eléctrica. Instituto Tecnológico de Puebla. 2009, 473 págs.
- [6] Enríquez Harper . El ABC de la calidad de la energía eléctrica. 2ª ed .
- [7] <http://www.ecamec.com.ar/newsletter/bajarnotaa0610.pdf>
- [8] Manual del usuario del analizador de problemas de calidad de energía trifásica Fluke 434/435, EE. UU. 2008, 140p.
- [9] Santiago Barcón, Rafael Guerrero, Iván Martínez. Calidad de la Energía (Factor de potencia y filtrado de armónicas). México, Mc. Graw Hill, 2012, 264p.
- [10] IEEE Power & Energy Society. IEEE 519-2014, Práctica recomendada y requisitos para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica. Estados Unidos 2014, 29 págs.
- [11] Secretaría de Energía. NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (Utilización), México, 2012, 1140p. I. Pinnau y WJ Koros, "Estructuras y propiedades de separación de gases de asimétrica

Análisis de la transferencia de calor unidimensional-transitorio en paredes compuestas con diferentes factores de peso

C.A de Dios^{1*}, E.V. Macías Melo¹, K. M. Aguilar Castro¹, I. Y. Pérez-Olan¹, R.N Azcanio¹
División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
Carretera Cunduacán - Jalpa de Méndez Km 1, C.P. 86690, Cunduacán, Tabasco
*cesar.dedios@outlook.com

Área de participación: Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Resumen

Se presenta el estudio de la transferencia de calor unidimensional transitorio de una pared compuesta. Esta pared consta de la unión de tres materiales en cuatro capas: revoco (capa exterior), placa de concreto, placa de aislante, y revoco (capa interior). La solución del modelo matemático de la ecuación gobernante se obtuvo mediante el método de volumen finito (MVF) empleando esquemas mixtos con diferentes factores de peso, donde se analizaron los tiempos computacionales, las temperaturas en las superficies, la carga térmica, el tiempo de retraso, y el factor de amortiguamiento. Para la solución, se desarrolló un código computacional. El tiempo de simulación fue de 48 h, y se encontró, que la temperatura promedio en la superficie interior de la pared fue 26.158°C, el factor de amortiguamiento se mantuvo en promedio con 0.0465, así como, el tiempo computacional disminuyó en 30% al emplear un paso del tiempo mayor.

Palabras clave: Transferencia de calor, MVF, Carga Térmica

Abstract

The study of transient one-dimensional heat transfer of a composite wall is presented. This wall consists of the union of three materials in four layers: concrete plaster (outer layer), concrete plate, insulation plate, and concrete plaster (inner layer). The heat transfer is analyzed using mixed schemes with different weighting factors, where computational times are analyzed (simulation of two days). The comparison parameters are the temperatures on the surfaces, the thermal load, the delay time, and the damping factor. For the solution, a computational code with two analytical solution methods was developed. The first numerical method used was implicit discretization, and the second was the Crank - Nicolson discretization method, varying the damping factor between the first and second methods. As a result of a simulation time of 48 hours for each solution method. In the same way, the behavior of the temperature in the composite wall was obtained depending on the time, the thermal load generated, the damping factor, and the delay time.

Key words: Heat Transfer, MFV, Thermal Load

Introducción

El clima en el planeta ha sido alterado como resultado del crecimiento de la población humana y desarrollo urbano de las ciudades a escala mundial. El desarrollo urbano de las ciudades ha ocasionado islas térmicas, lo que conduce a un aumento en el consumo de energía provocando la elevación de emisiones de gases de invernadero [1]. Por lo cual, esto causa la aceleración del deterioro ambiental y degradan el nivel de vida en los asentamientos urbanos, pone en riesgo la salud humana, el confort térmico e incrementa la temperatura. El confort térmico es una condición importante para que los ocupantes de un recinto puedan desarrollar sus actividades cotidianas. Un sistema de acondicionamiento térmico sirve para abastecer o extraer calor dentro de una vivienda habitacional o sitio delimitado. El gasto porcentual de los equipamientos de calefacción en un inmueble alcanza hasta el 44%, al mismo tiempo que, un sistema de acondicionamiento de aire puede llegar a ser hasta de un 45% conforme a la Encuesta Nacional de Consumos de Energéticos en VIVIENDA, México [2]. En México, los sistemas acondicionamiento de aire y equipos de acondicionamiento térmico en promedio trabajan constantemente entre 2 y 5 horas, debido a que las viviendas no están diseñadas adecuadamente para el clima ni su entorno[3]. Por lo que, para la obtención de un espacio con condiciones de confort térmico intervienen a la vez parámetros y factores diversos, como son los tipos de ámbito de actividades que se realizan, los diversos equipos electrónicos y de iluminación que se utilizan, la cantidad de ocupantes, el tamaño de la edificación, así como, los diferentes tipos de materiales utilizados en la construcción.

Se ha reportado que, el empleo adecuado de los materiales de construcción ayuda a mejorar la eficacia energética en un 20% y disminuir el costo del consumo de energía hasta un 40%. Los investigadores han presentado soluciones a múltiples sistemas de paredes compuestas para edificaciones, tomando en cuenta diversos materiales de construcción y sus propiedades térmicas, lo que permite el diseño adecuado de edificaciones [4], [5]. Li et al., [5] mencionan que en el diseño térmico del edificio se utilizan ampliamente parámetros como: la conductividad térmica, el coeficiente de almacenamiento térmico, la capacidad calorífica específica, la densidad y otros parámetros físicos térmicos de la envolvente de las edificaciones. En el área de la ingeniería civil existen diversos tipos de materiales de construcción y agregados que se pueden incorporar dependiendo de las técnicas de construcción, el tipo de edificación y la ubicación en el cual se va a edificar. Por lo cual, un estudio de la transferencia de calor con distintos materiales empleados en paredes compuestas, darán como resultado parámetros que contribuyan a la selección y diseño térmico de las edificaciones.

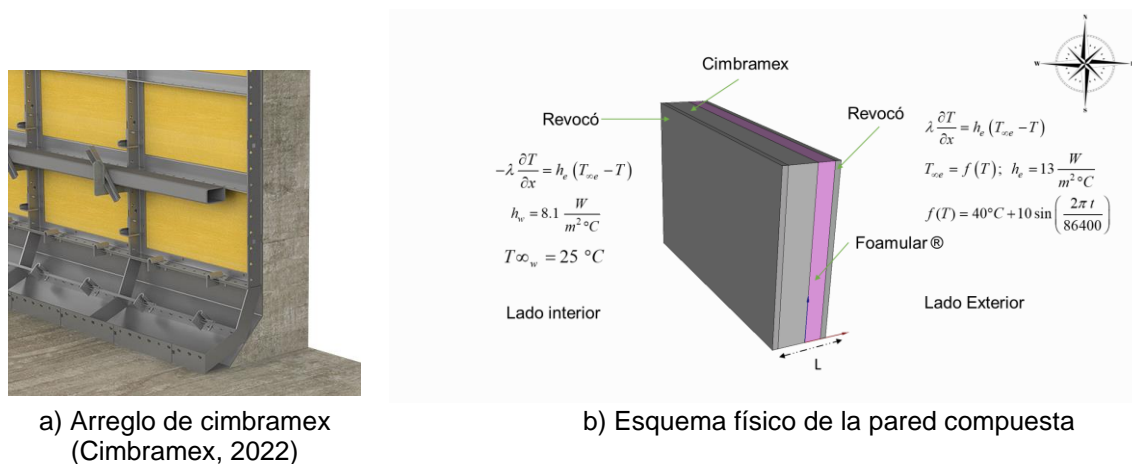
La transferencia de calor está presente en todos los objetos y se produce siempre que exista un gradiente térmico o cuando dos o más sistemas con diferentes temperaturas se ponen en contacto. Para el estudio de la propagación de calor diferencial se pueden aplicar diferentes metodologías de solución como son los métodos analíticos, experimentales o numéricos. El método analítico permite obtener una solución en la cual se conoce la distribución de temperatura al interior del dominio físico en cualquier tiempo bajo diferentes tipos de condiciones de frontera. Los métodos numéricos normalmente se emplean para obtener la solución del modelo matemático cuando: el sistema físico tiene una geometría compleja, las condiciones de frontera dependen del tiempo y las propiedades del sistema son función de la temperatura. Algunos de los métodos numéricos son: Método de Elemento Finito (MEF), Método de Volumen Finito (MVF), Método de Diferencias Finitas (MDF) y Método de Elementos Discretos (MED)[6]. La solución usando un método numérico permitirá obtener una solución que caracterice el comportamiento de la pared de estudio.

Por lo que, en este trabajo se plantea analizar la transferencia de calor unidimensional transitoria, bajo condiciones de frontera de tercera clase, en una pared compuesta que se implementa en las construcciones actuales (cimbramex). Para ello, se utilizó el MVF como método de solución utilizando el software Matlab® para el desarrollo del código computacional. Lo anterior, con el fin de encontrar soluciones «aproximadas» para el modelo matemático de transferencia de calor diferencial, comparando los tiempos computacionales, las temperaturas en las superficies, la carga térmica, el tiempo de retraso, y el factor de amortiguamiento.

Metodología de solución

Pared Compuesta

En la **Figura 1**, se muestra una pared compuesta que consta de un arreglo de revoco, cimbramex, aislante térmico Foamular® y revoco. La transferencia de calor en la pared está sujeta a condiciones de fronteras de tercera clase en el lado Oeste (W) y Este (E). Las condiciones de frontera de tercera clase (Robin) son condiciones que consideran el efecto combinado de la convección y radiación. La conductancia superficial exterior (o lado Este), h_e , se considera de $13 \text{ W/m}^2\text{°C}$ [7]. Para este estudio, el comportamiento de la temperatura exterior ($T_{\infty e}$) es sinusoidal dependiente del tiempo. Las propiedades térmicas del muro son descritas en la **Tabla 1**.



a) Arreglo de cimbramex (Cimbramex, 2022)

b) Esquema físico de la pared compuesta

Figura 1. Modelo físico, a) imagen de una pared de cimbramex, y b) condiciones de frontera de la pared compuesta.

Tabla 1. Propiedades térmicas de muro.

Material	Espesor L (m)	Conductividad Térmica, λ (W/m°C)	Calor específico c (J/Kg°C)	Densidad ρ (kg/m³)
Revoco	0.01	1.01	780	1460
Cimbramex	0.07	1.1	1350	2400
Foamular®	0.025	0.028	750	40.47

Fuente: [8], [9]

La ecuación que gobierna la transferencia de calor en el sistema se representa con la Ecuación (1).

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad 0 < x < L, \quad t > 0 \quad (1)$$

Donde, T es la temperatura (°C), λ es la conductividad térmica (W/m°C) y L es el espesor (m).

Método de solución

La solución del caso de estudio de la pared compuesta de la **Figura 1**, se obtuvo aplicando el MVF con esquemas de solución mixtos para diferentes factores de peso. El MVF es un método numérico que conlleva en una proximidad de las derivadas parciales mediante expresiones algebraicas. Este método resulta útil cuando se aplica en materiales compuestos por placa de caras paralelas. Para ello, se discretizó el dominio físico en volúmenes de control donde su centro se llama *nodo*, y se encuentra una solución para cada nodo considerando los efectos de las condiciones de frontera, como se muestra en la **Figura 2**.

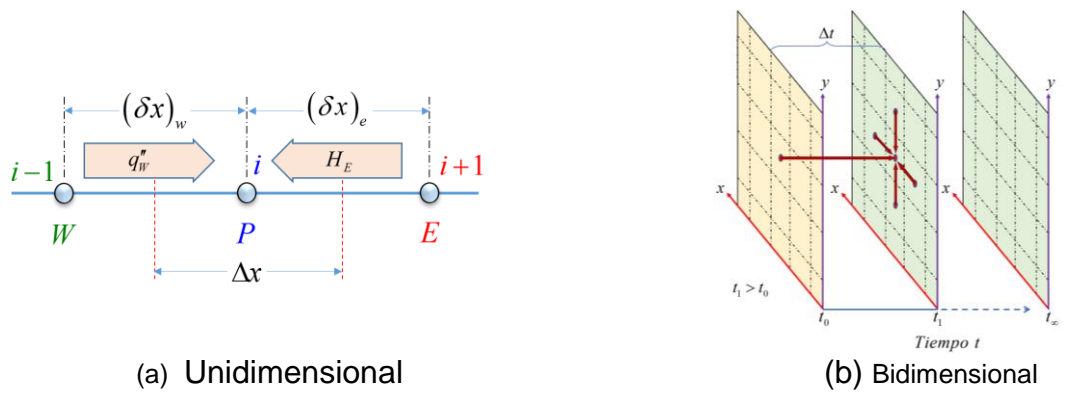


Figura 2. Representación del volumen de control, P, sobre una malla.

La ecuación gobernante (Ecuación 1) es discretizada de acuerdo al MVF y se obtienen las Ecuaciones (2) – (5).

$$\rho c \int_w^e \int_t^{t+\Delta t} \frac{\partial T}{\partial t} dt dx = \int_t^{t+\Delta t} \int_w^e \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx dt \quad (2)$$

$$\int_t^{t+\Delta t} T_p dt = [f T_p^1 + (1-f) T_p^0] \Delta t \quad (3)$$

$$\rho c \frac{\Delta x}{\Delta t} (T_p^1 - T_p^0) = f \left[\frac{\lambda_e (T_E^1 - T_p^1)}{(\delta x)_e} - \frac{\lambda_w (T_p^1 - T_w^1)}{(\delta x)_w} \right] + (1-f) \left[\frac{\lambda_e (T_E^0 - T_p^0)}{(\delta x)_e} - \frac{\lambda_w (T_p^0 - T_w^0)}{(\delta x)_w} \right] \quad (4)$$

Donde f es el factor de peso entre $0.25 < 1$

$$a_p T_p = a_E [f T_E + (1-f) T_E^0] + a_w [f T_w + (1-f) T_w^0] + [a_p^0 - (1-f) a_E - (1-f) a_w] T_p^0 \quad (5)$$

$$a_E = \frac{\lambda_e}{(\delta x)_e} \quad a_w = \frac{\lambda_w}{(\delta x)_w} \quad a_p^0 = \frac{\rho c \Delta x}{\Delta t} \quad a_p = f a_E + f a_w + a_p^0$$

Donde, a_E es el coeficiente de los nodos al Este, a_w es el coeficiente de los nodos al Oeste, a_p^0 es el coeficiente del nodo central. De igual manera se discretizaron las condiciones de frontera, como se muestra de forma resumida en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Discretización de condiciones de frontera este y oeste.

Condiciones de Frontera	
Oeste (W)	Este (E)
$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = h_w (T_{\infty w} - T)$ (6)	$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = h_e (T_{\infty e} - T)$ (10)
$-\lambda \frac{T_{i+1}^{k+1} - T_i^{k+1}}{\delta x_e} = h_w (T_{\infty w} - T_i^{k+1})$ (7)	$\lambda \frac{T_i^{k+1} - T_{i-1}^{k+1}}{\delta x_w} = h_e (T_{\infty e} - T_i^{k+1})$ (11)
$T_i^{k+1} - T_{i+1}^{k+1} = h_w \delta x_e / \lambda (T_{\infty w} - T_i^{k+1})$ (8)	$T_i^{k+1} - T_{i-1}^{k+1} = h_e \delta x_w / \lambda (T_{\infty e} - T_i^{k+1})$ (12)
$\underbrace{(1 + h_w \delta x_e / \lambda)}_{a_p} T_i^{k+1} = 1 T_{i-1}^{k+1} + \underbrace{h_w \delta x_e T_{\infty w} / \lambda}_B$ (9)	$\underbrace{(1 + h_e \delta x_w / \lambda)}_{a_p} T_i^{k+1} = 1 T_{i-1}^{k+1} + \underbrace{h_e \delta x_w T_{\infty e} / \lambda}_B$ (13)

Ordenando los coeficientes agrupados para el sistema de ecuaciones que representan el interior y las fronteras, ecuaciones (5) – (13), se forma una matriz tridiagonal que se resuelve mediante el algoritmo TDMA (*Tridiagonal Matrix Algorithm*). En la **Figura 3** se presenta la metodología para el desarrollo del código computacional, para la solución del caso de estudio. La solución inicia con la definición de la geometría, luego se proporcionan las propiedades termofísicas del material y el periodo de análisis. Posteriormente, se discretizan las ecuaciones gobernantes y se resuelve el sistema de ecuaciones derivado, para obtener el comportamiento de la temperatura a través de la pared. Lo anterior, permitirá también estimar las cargas térmicas (Ecuación 13).

$$Q = \Sigma q \Delta t \quad (13)$$

Donde: Q es la energía total que pasa en un intervalo de tiempo (kWh), q es el flujo de calor (kW) y Δt es el incremento de tiempo en la ecuación en (h).

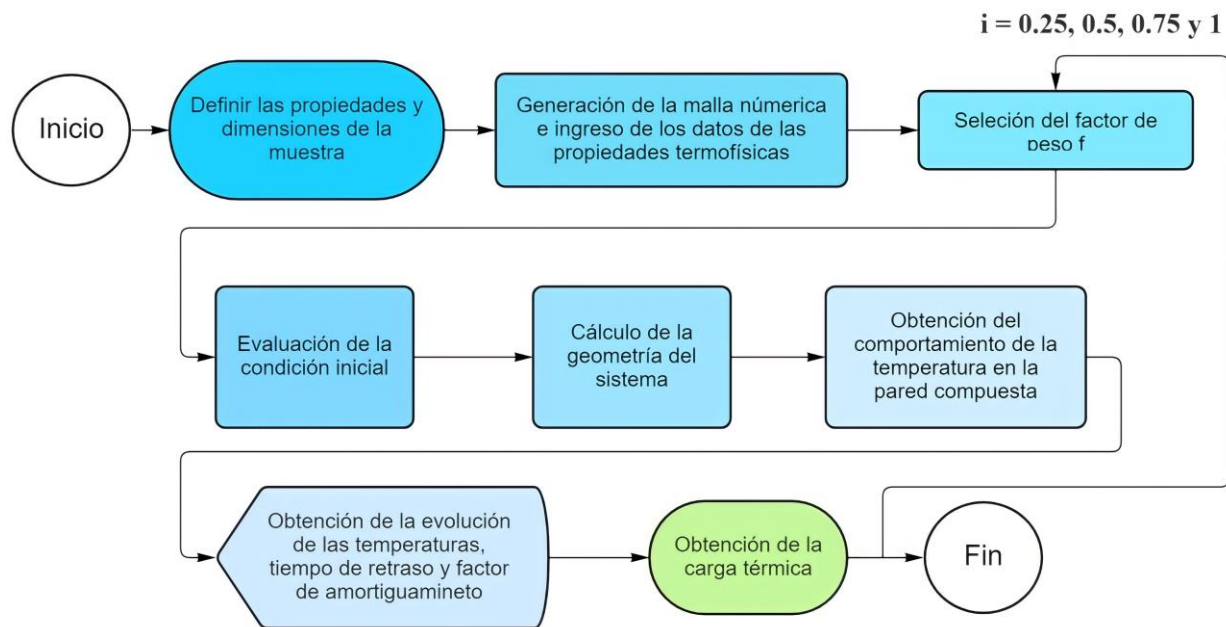


Figura 3. Algoritmo de solución.

Resultados y discusión

Para la simulación del comportamiento del efecto de la transferencia de calor de la pared compuesta que se expone en la **Figura 1**, se realizaron simulaciones alternando los pasos del tiempo (Δt), el tamaño de malla (\mathbf{Dx}) y el factor de peso (f), como se muestra en la **Tabla 3**. El factor del peso empleado se propuso en el intervalo de 1 a 0.25, debido a que al emplear el cero el método es completamente explícito y hace que la solución pueda ser divergente. Los pasos del tiempo empleado son: Δt de 5 s a 60 s, debido que se quiere conocer si al incrementar el paso del tiempo en la solución, el tiempo computacional disminuye sin reducir la precisión de la solución. El uso de una malla con más nodos reduce los errores de truncamiento de la aproximación empleada mejorándola precisión de la solución, por lo cual se va a comparar el comportamiento de la solución utilizando mallas con diferentes tamaños. Como resultado de la variación de los parámetros se obtuvieron las siguientes combinaciones para las simulaciones mostradas en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Combinación de parámetros usados en la simulación del efecto de la transferencia de calor.

Caso	Paso del Tiempo Δt (s)		Tamaño de malla, D_x		Factor de Peso (f)	
$\Delta t1Dx1f1$					$f1$	1
$\Delta t1Dx1f2$			Dx1	13	$f2$	0.75
$\Delta t1Dx1f3$					$f3$	0.5
$\Delta t1Dx1f4$					$f4$	0.25
$\Delta t1Dx4f1$	$\Delta t1$	5	Dx4	43	$f1$	1
$\Delta t1Dx4f2$					$f2$	0.75
$\Delta t1Dx4f3$					$f3$	0.5
$\Delta t1Dx4f4$					$f4$	0.25
$\Delta t2Dx1f1$	$\Delta t2$	60	Dx1	13	$f1$	1
$\Delta t2Dx1f2$					$f2$	0.75
$\Delta t2Dx1f3$					$f3$	0.5
$\Delta t2Dx1f4$					$f4$	0.25
$\Delta t2Dx4f1$			Dx4	43	$f1$	1
$\Delta t2Dx4f2$					$f2$	0.75
$\Delta t2Dx4f3$					$f3$	0.5
$\Delta t2Dx4f4$					$f4$	0.25

De acuerdo con el fenómeno de transferencia de calor por conducción en la pared compuesta, en la **Figura 4** se presenta el efecto de emplear un aislante térmico (Foamular®) en una pared convencional con un arreglo formado por revoco, cimbramex y revoco. Se observó que, la temperatura de la superficie exterior (T_{se}) osciló entre 30°C y 50°C. Mientras tanto, la temperatura promedio de la superficie en el interior de la pared (T_{si}) fue de 26.15°C. Lo anterior, muestra que el uso del aislante térmico ayuda a disminuir de manera significativa la transferencia de calor en la pared compuesta, debido a que la diferencia de temperatura en la superficie exterior e interior se encuentra en un valor promedio de 12.27°C.

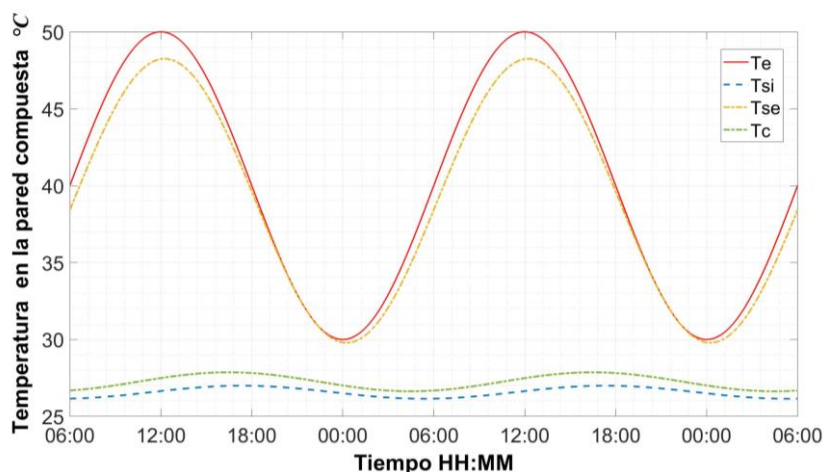


Figura 4. Comportamiento de la temperatura en la pared compuesta en 2 días de simulación.

En la **Figura 5** se muestra la evolución de la temperatura ambiente exterior (T_e) sobre la pared compuesta, así como, la temperatura de superficie interior para diferentes valores del factor de peso, donde T_{si1} es la temperatura de superficie interior con un f de 1, T_{si2} es la temperatura de superficie interior con un f de 0.75, T_{si3} es la temperatura de superficie interior con un f de 0.5, T_{si4} es la temperatura de superficie interior con un f de 0.25. Lo

anterior, empleando un tamaño de malla de 43 nodos y un paso de tiempo $\Delta t = 5$ s para todos los factores de peso. Se puede observar que presentan un comportamiento similar de forma sinusoidal con diferencias poco significativas en la primera hora de simulación, y se observa que la solución usando los diferentes factores de peso se superponen por la exactitud en las soluciones. Este comportamiento se debe a que la ecuación de conducción de calor unidimensional transitorio se resuelve para propiedades constantes para cada una de las placas que componen la pared compuesta, lo cual, la hace una ecuación lineal. Por lo que, podría observarse un cambio debido a los factores de peso, sí se consideran propiedades de los materiales dependientes de la temperatura. En la **Figura 6** se muestra el comportamiento de las temperaturas de superficie interior (T_{si}) con los cuatro factores de peso utilizados en la **Figura 5**.

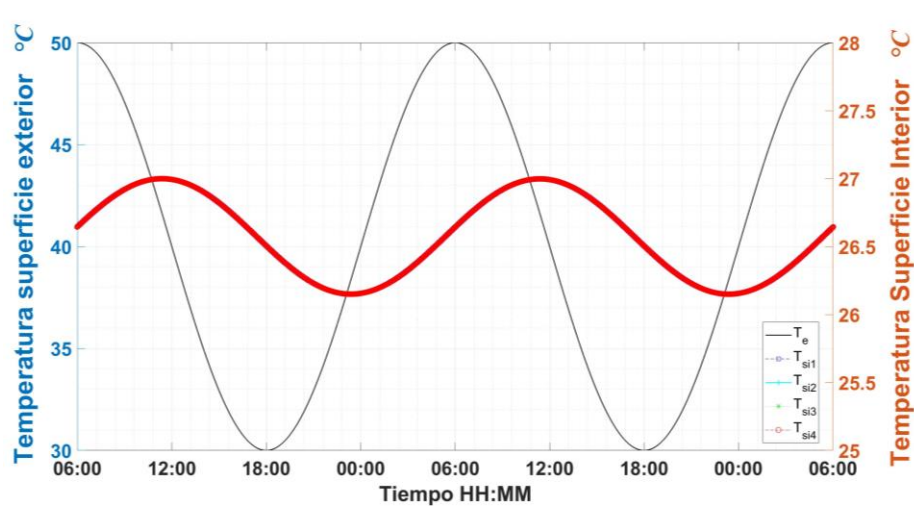
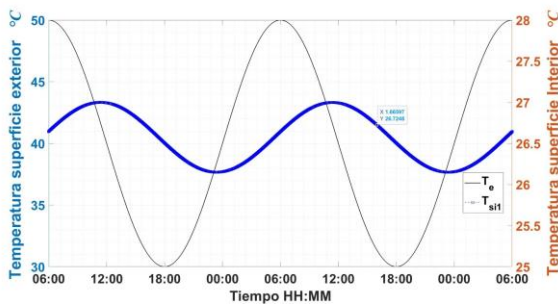
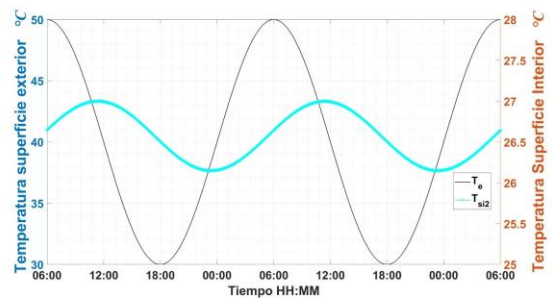


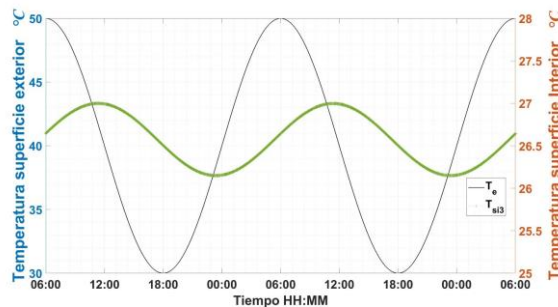
Figura 5. Comportamiento de la temperatura en la pared compuesta con $f = 1, 0.75, 0.5$ y 0.25 , para un $\Delta t 1$.



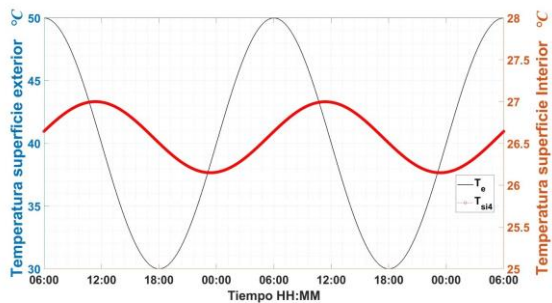
(a) $\Delta t 1 D x 4 f 1$



(b) $\Delta t 1 D x 4 f 2$



(c) $\Delta t 1 D x 4 f 3$



(d) $\Delta t 1 D x 4 f 4$

Figura 6. Comportamiento de la Temperatura superficie interior (T_{sei}) con diferentes factores de peso.

Con base en la variación de parámetros que se utilizó por cada simulación, se obtuvo el factor de amortiguamiento (**FA**), el tiempo de retraso (t_r), la carga térmica (**CT**), la temperatura de la superficie interior (T_{si}), la temperatura de la superficie exterior (T_{se}), la temperatura en el centro de la pared compuesta (T_c) y el tiempo computacional (T_{CP}). Los valores de estos parámetros se muestran en la **Tabla 4** y **Tabla 5**. De acuerdo con estos resultados, el valor de las cargas térmicas se mantuvo constante, en promedio con valores de 0.311 KWh y 0.311 KWh para 13 nodos y 43 nodos respectivamente. Los valores de la T_{si} para los casos simulados están en un valor promedio de 26.16°C. Por lo que, la T_{si} fue similar observando una superposición en las soluciones. Por su parte, el T_{CP} incrementó en un 27.8% al pasar de 13 nodos a 43 nodos. Así también, la T_{se} y la T_c se mantuvieron constantes con un valor de 38.43 °C y 26.69 °C. Para el caso $\Delta t2Dx4f4$, no se obtuvieron resultados debido a que se origina un problema de limitación para el cumplimiento de las leyes de termodinámica, que presenta las soluciones discretizadas en el tiempo de forma explícitas. Esto debido a que conforme el factor de peso hace que la discretización en el tiempo se vuelva completamente explícita, la solución tiende a volverse divergente porque el tamaño de la malla espacial y temporal están sujetas al cumplimiento de la segunda Ley de la termodinámica, donde además se ven incluidas las propiedades termofísicas del material.

Tabla 4. Resultado de las simulaciones empleando $\Delta t1$, $Dx1$ - $Dx4$ con diferentes valores de f .

	$\Delta t1Dx1f1$	$\Delta t1Dx1f2$	$\Delta t1Dx1f3$	$\Delta t1Dx1f4$	$\Delta t1Dx4f1$	$\Delta t1Dx4f2$	$\Delta t1Dx4f3$	$\Delta t1Dx4f4$
FA	0.047	0.047	0.047	0.047	0.046	0.046	0.046	0.046
t_r (hh:mm)	05:00	05:00	05:00	05:00	05:10	05:10	05:10	05:10
CT (KWh)	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311
T_{si} (°C)	26.157	26.157	26.157	26.157	26.160	26.160	26.160	26.160
T_{se} (°C)	38.428	38.428	38.428	38.428	38.428	38.428	38.428	38.428
T_c (°C)	26.685	26.685	26.684	26.684	26.680	26.688	26.688	26.688
T_{CP} (s)	1.232	1.281	1.275	1.270	1.760	1.709	1.702	1.739

Tabla 5. Resultado de las simulaciones empleando $\Delta t2$, $Dx1$ - $Dx4$ con diferentes valores de f .

	$\Delta t2Dx1f1$	$\Delta t2Dx1f2$	$\Delta t2Dx1f3$	$\Delta t2Dx1f4$	$\Delta t2Dx4f1$	$\Delta t2Dx4f2$	$\Delta t2Dx4f3$	$\Delta t2Dx4f4$
FA	0.047	0.047	0.047	0.047	0.046	0.046	0.046	NaN
t_r (hh:mm)	04:59	04:59	5:0	5:0	05:10	05:10	05:10	NaN
CT (KWh)	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	NaN
T_{si} (°C)	26.158	26.158	26.157	26.157	26.161	26.161	26.160	NaN
T_{se} (°C)	38.428	38.428	38.428	38.428	38.428	38.428	38.428	NaN
T_c (°C)	26.685	26.685	26.684	26.684	26.689	26.689	26.688	NaN
T_{CP} (s)	1.032	1.104	1.013	0.985	1.060	1.107	1.032	NaN

Conforme con los resultados mostrados en la **Tabla 4** y **5**, el tiempo de solución es menor cuando se usan pasos de tiempo mayor. Así mismo, podemos observar que, debido al incremento del número de nodos en la malla, en ambos pasos de tiempo, el tiempo de solución incremento de manera significativa. En la **Tabla 4** y **5**, se aprecia que el FA para el $\Delta t1$ y $\Delta t2$ se mantiene constante y hace un cambio significativo al pasar de una malla de 13 nodos a una malla de 43 nodos. Por otra parte, en la **Figura 7**, se observa que al aumentar el paso del tiempo incrementa la T_{si} , esto debido a la pérdida de información por los errores de truncamiento al emplear las aproximaciones. También, se observa que, al utilizar un paso del tiempo menor con una malla con más nodos, la T_{si} se mantiene constante. Esto muestra que la solución es más sensible a los incrementos del tiempo que a los incrementos de malla espacial.

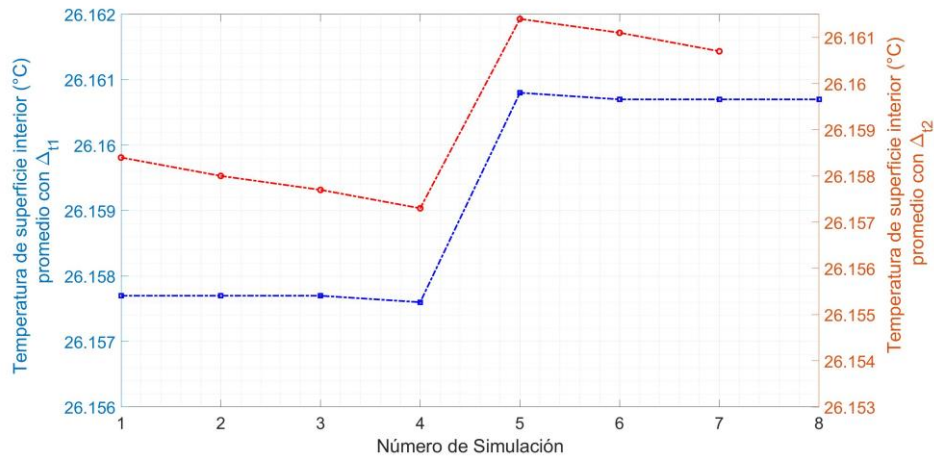


Figura 7. Temperatura de superficie interiores con Δt diferentes.

Conclusión

Se realizó el estudio de la transferencia de calor unidimensional transitorio de una pared compuesta con una solución numérica mediante el MVF a través de un código computacional, considerando diferentes factores de peso con dos métodos de discretización para el tiempo. Con base en los resultados mostrados a partir de las simulaciones, se encontró que el uso de materiales termoaislantes (Foamular®) en paredes convencionales podría contribuir de manera significativa para disminuir la transferencia de calor en una vivienda habitacional. Esto debido a que, disminuye la temperatura entre la superficie exterior e interior en un 31%. De igual manera se observó que, el empleo de un factor de peso menor a 0.47 y un paso de tiempo mayor a 7s, ocasiona que la solución se vuelva divergente.

Por lo cual, este trabajo da guía a futuros estudios donde se podría emplear mallas más grandes con pasos de tiempo menores para refinar la exactitud de las soluciones, así mismo, utilizar los mismos factores de peso para evitar soluciones divergentes. De igual manera, a partir del código desarrollado podría realizarse un estudio con una disposición de capas de los materiales en la pared compuesta para conocer el arreglo más eficiente que contribuya a disminuir la transferencia de calor en las viviendas habitacionales, incluyendo condiciones de fronteras con condiciones climáticas reales para conocer la eficacia de usar materiales termoaislantes.

Referencias

- [1] PNUMA, "Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente," *Report*, pp. 1–5, 2012, doi: 10.1016/J.CLLC.2016.02.001.
- [2] Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, "Cuaderno No.10," *SECRETARÍA DE ENERGÍA*, vol. Cuaderno No. 10, p. 9, Mar. 2018.
- [3] "¿Cómo reducir costos en la operación de equipos de confort térmico? - KINENERGY." <https://www.kin.energy/blogs/post/%C2%BFc%C3%B3mo-reducir-costos-en-la-operaci%C3%B3nde-equipos-de-confort-t%C3%A9rmico> (accessed Nov. 02, 2021).
- [4] E. Cuce, "Accurate and reliable U-value assessment of argon-filled double glazed windows: A numerical and experimental investigation," *Energy and Buildings*, vol. 171, pp. 100–106, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.04.036.
- [5] A. Li, X. Xu, J. Xie, and Y. Sun, "Development of a simplified heat transfer model of hollow blocks by using finite element method in frequency domain," *Energy and Buildings*, vol. 111, pp. 76–86, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.09.004.

- [6] J. Xamán and M. Gijón-Rivera, *Dinámica de Fluidos Computacional para Ingenieros*, Primera Edición. ITSEM-Campus Puebla: Palibrio, 2016.
- [7] Diario Oficial de la Federación, “Eficiencia energética en edificaciones.- Envolvente de edificios para uso habitacional,NOM-020-ENER-2011,” pp. 1–47, Sep. 2011, Accessed: Jul. 29, 2022. [Online]. Available: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5203931&fecha=09/08/2011#gsc.tab=0
- [8] Arq. Jose Luis Cánovas, “CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LOS MATERIALES,” *Arquitectura Bioclimática*, Apr. 09, 2014. [https://pedrojhernandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/#:~:text=Su%20valor%2C%20que%20depende%20del,\(4187%20J%2FKgK\)](https://pedrojhernandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/#:~:text=Su%20valor%2C%20que%20depende%20del,(4187%20J%2FKgK)). (accessed Aug. 01, 2022).
- [9] Owens Corning, “Ficha Técnica de Aislamiento Térmico de Espuma Rígida de Poliestireno Extruído (XPS),” Sep. 2022. https://owenscorning.com.mx/foamular-aislamiento-termico/?gclid=CjwKCAjwrZOXBhACEiwA0EoRD33DrLbWD5WExlFNxyvipTi-669q9J57DWRE0aUjplq2QZJjci31JBoCsqsQAvD_BwE (accessed Jul. 29, 2022).

Evaluación anual de una chimenea solar de un canal en condiciones de clima cálido-húmedo

C.E. Torres-Aguilar¹, J. Arce², R. Vargas-López³, E.V. Macias-Melo⁴, K.M. Aguilar-Castro⁵

¹Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (TecNM/CENIDET)

carlos.torres17ma@cenidet.edu.mx,

²Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (TecNM/CENIDET) jesus.al@cenidet.tecnm.mx,

³Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (TecNM/CENIDET)

rogelio.vargas.lopez@gmail.com,

⁴Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) edgar.macias@ujat.mx,

⁵Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) karla.aguilar@ujat.mx

Área de participación: Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Resumen

En el presente estudio se expone la evaluación anual de una chimenea solar de un solo canal bajo las condiciones climáticas de Villahermosa, Tabasco. El modelo se desarrolló en estado transitorio y con balances de energía, además que las condiciones de frontera se alimentaron con datos obtenidos por una estación meteorológica. La chimenea solar se consideró con una pared absorbente de placa metálica y fue orientada hacia el oeste. La chimenea solar generó hasta 0.05 kgs^{-1} o $160 \text{ m}^3\text{hr}^{-1}$ de flujo de aire. Los flujos de aire más altos se generaron durante las estaciones de primavera y verano. El flujo de aire promedio fue suficiente para satisfacer la ventilación necesaria para un área de 18m^2 y el tiempo de operación del sistema fue de entre 8.48 y 13.25 horas. La chimenea solar de un solo canal demostró ser una alternativa de solución para proveer ventilación natural de forma pasiva.

Palabras clave: Chimenea solar, transitorio, balances de energía, ventilación.

Abstract

The present study explains the annual evaluation of a single-channel solar chimney under climate conditions of Villahermosa, Tabasco. The model was developed for unsteady state and using energy balances. Also, the recorded data from a weather station was used in boundary conditions. The solar chimney was oriented to the west, and a metallic plate was used for the absorber wall. The solar chimney induced until 0.05 kgs^{-1} or $160\text{m}^3\text{hr}^{-1}$ of airflow. The highest airflows were performed during the spring and summer seasons. The average airflow was enough to cover the necessary ventilation to an area of 18m^2 , and the operation time the of system was from 8.48 to 13.25 hours. Therefore, the single-channel solar chimney is an alternative solution to provide natural ventilation.

Key words: Solar chimney, unsteady, energy balances, ventilation.

Introducción

El desarrollo tecnológico de los últimos años ha permitido mejorar la calidad de vida de los seres humanos en aspectos como salud, alimentación y vivienda. De tal forma que se ha registrado un crecimiento poblacional tan acelerado que han surgido cambios drásticos en el sector de la construcción a tal grado de proveer un espacio para los más de 7 mil millones de habitantes. Uno de los efectos a los que se le ha prestado atención es la construcción de complejos habitacionales, edificios departamentales y de oficinas que se caracterizan por proveer espacios reducidos que en la mayoría de las ocasiones carecen de aspectos esenciales para el bienestar y confort humano como lo es una adecuada ventilación.

La ventilación permite suministrar o remover aire de un recinto para regular los niveles de humedad, contaminantes e incluso facilita alcanzar una temperatura idónea o de confort [1]. De acuerdo con **Awbi [2]** y **Wang et al. [3]** las personas pasan hasta 90% de su tiempo al interior de las edificaciones (casas, fábricas, oficinas, espacios recreativos), por lo que es común recurrir al uso de sistemas activos como ventiladores o aires acondicionados para satisfacer las necesidades de ventilación y confort. Estas acciones provocan un consumo creciente de energía y recursos naturales para satisfacer estas necesidades; de acuerdo con la **International Energy Agency [4]**, el 36% del consumo energético global fue por parte del sector residencial y de construcción, del cual 30% de la energía consumida en edificaciones se disipa a través de sistemas de ventilación y exfiltración. Sin embargo, después de la aparición del COVID-19, la **International Energy Agency [5]** expuso que la gestión de edificaciones sugiere incrementar la razón de ventilación total para evitar la transmisión de agentes virales y que, de acuerdo con las proyecciones, esto representa un incremento del 10% del consumo energético total para edificios no residenciales. Por lo tanto, es necesario atender las necesidades de ventilación sin exceder el consumo energético.

Los sistemas pasivos de ventilación son una alternativa para proveer ventilación natural a través del aprovechamiento de fuentes de energías renovables. Entre los diferentes sistemas pasivos con fines de ventilación se encuentran las chimeneas solares; estos dispositivos aprovechan la radiación solar incidente de tal forma que se induce ventilación por tiro inducido al conectarse la entrada de la chimenea a un recinto o habitación [1]. En la literatura se han reportado diferentes estudios enfocados al análisis del potencial de ventilación de estos dispositivos como el estudio de **Zavala-Guillén et al. [6]** quienes a través de un modelo de dinámica de fluidos computacional (DFC) se evaluaron tres ciudades de la República Mexicana con climas cálidos, sin embargo, con un modelo en estado permanente. **Tlatelpa-Becerro et al. [7]** estudiaron una chimenea solar de tres canales con un modelo de DFC bajo las condiciones climáticas de Yecapixtla, Morelos; otro estudio bajo condiciones climáticas de la República Mexicana es el estudio de **Jiménez-Xamán et al. [8]** en el que se evaluó un modelo de chimenea solar en balances de energía acoplado a una habitación modelada con DFC bajo las condiciones Mérida, Yucatán, de igual forma que en los estudios anteriores los modelos no consideran los cambios a través del tiempo y las condiciones climáticas del día más cálido y más frío del año. El uso de modelos DFC dificulta realizar estudios paramétricos debido al excesivo tiempo de cómputo necesario para considerar condiciones climáticas de más días del año ante diferentes cambios y escenarios. Por esta razón destacan los estudios de sistemas pasivos a través de modelos de balances de energía en los que el tiempo de cómputo es mucho menor, pero a un costo en el que los resultados pierden precisión respecto a los modelos de DFC.

La evaluación de las chimeneas solares en estado transitorio permite analizar escenarios en los que se busca mejorar los diseños existentes, determinar la orientación, materiales (propiedades no lineales) y dimensiones óptimas para obtener el mejor desempeño e inducir la ventilación natural deseada en edificios residenciales y no residenciales. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es realizar la evaluación anual de un modelo de chimenea solar de un canal (ChSo-SC) en estado transitorio propuesto en balances de energía, bajo las condiciones climáticas cálido-húmedo de Villahermosa, Tabasco.

Metodología

Esta sección comprende el modelo físico y matemático de la ChSo-SC, la metodología de solución y las consideraciones del estudio para la evaluación anual bajo las condiciones climáticas de Villahermosa, Tabasco.

Modelo físico y matemático de ChSo-SC

El modelo fue propuesto en balances de energía para conocer las variaciones de temperatura en cada elemento y el flujo de aire generado ya que la carga computacional durante el proceso de solución es menor al de un modelo desarrollado mediante técnicas de dinámica de fluidos computacional. Los términos convectivos y radiativos fueron linealizados a partir de la ley de enfriamiento de Newton y la ley de Stefan-Boltzmann. Los balances de energía no permiten obtener los patrones de flujo del aire en el canal de la chimenea, sin embargo, la información es suficiente para determinar la capacidad de flujo de aire inducido por la chimenea solar a partir de relaciones ya reportadas en la literatura. El modelo matemático de la ChSo-Sc es similar al reportado por **Ong [9]**; algunas consideraciones importantes de este modelo consisten en tomar en cuenta los efectos convectivos y radiativos entre el ambiente exterior y la cubierta de vidrio, la convección entre la cubierta de vidrio y la placa absorbente con el fluido, el intercambio radiativo entre la cubierta de vidrio y la placa absorbente, y considerar el sistema en estado permanente o estacionario. En la Figura 1 se muestra el modelo de la ChSo-SC y entre las principales diferencias respecto al modelo de **Ong [9]** se encuentra considerar el efecto de la conducción de calor de todos los elementos sólidos y considerar el estado transitorio debido a los cambios de las condiciones de frontera.

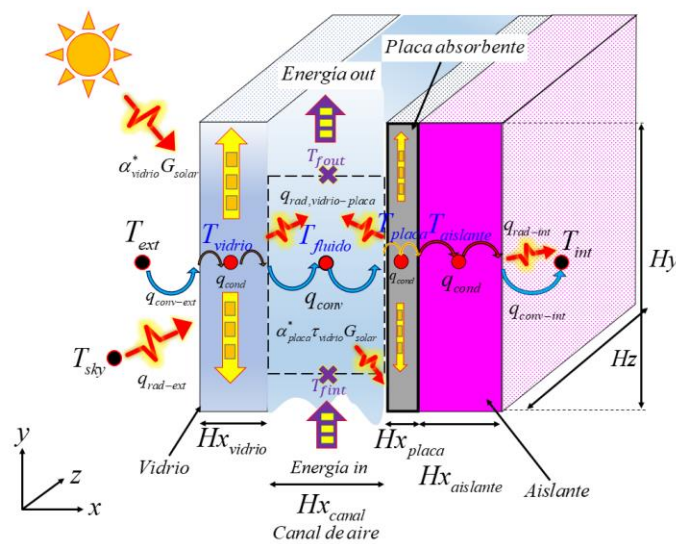


Figura 1. Modelo físico de ChSo-SC

Como se muestra en la Figura 1, los elementos que componen la ChSo-SC son la cubierta de vidrio, el fluido en el canal, la placa absorbente y el aislante térmico. A continuación, se describe el modelo matemático de la ChSo-SC por cada elemento a través de balances de energía.

Cubierta de vidrio

El balance de energía en la cubierta de vidrio considera el efecto convectivo y radiativo de forma individual en las componentes de flujo de calor entre el ambiente exterior y la componente de interés. La temperatura del ambiente exterior (T_{ext}), la temperatura del cielo (T_{sky}), la radiación solar incidente (G_{solar}) y el coeficiente convectivo ($h_{conv-ext}$) están en función del tiempo y estos se obtienen a partir de los datos registrados por una estación meteorológica.

$$\underbrace{\left(\frac{1}{h_{conv-ext}} + \frac{Hx_{vidrio}}{2\lambda_{vidrio}} \right)}_{a_1^{-1}} A_{int} + \underbrace{\left(\frac{1}{h_{rad1}} \right)}_{a_2^{-1}} A_{int} + \alpha_{vidrio}^* G_{solar} A_{int} - \underbrace{\left(\frac{Hx_{vidrio}}{2\lambda_{vidrio}} + \frac{1}{h_{vidrio-fluido}} \right)}_{a_3^{-1}} A_{out} - \underbrace{\left(\frac{1}{h_{rad,vidrio-placa}} \right)}_{a_4^{-1}} A_{out} \quad (1)$$

$$= \frac{d}{dt} (\rho C_p T)_{vidrio} A \Delta x \quad A = A_{int} = A_{out}$$

Fluido del canal

En el fluido del canal se consideraron los efectos de la convección entre las superficies de la placa absorbente y la cubierta de vidrio, y la remoción de energía debido al flujo másico generado por el efecto de las fuerzas de

flotación. Además, el balance de energía considera las resistencias conductivas en la mitad adyacente en cada elemento sólido que forma el canal. El flujo másico se considera constante a lo largo de todo del canal por continuidad, mientras que el medio o fluido no son considerados radiativamente participantes.

$$\underbrace{\left(\frac{Hx_{vidrio}}{2\lambda_{vidrio}} + \frac{1}{h_{vidrio-fluido}} \right)}_{b_1^{-1}} + \frac{\dot{m}_{int} C_{p,int} T_{f,int}}{HyHz} - \underbrace{\left(\frac{1}{h_{fluido-placa}} + \frac{Hx_{placa}}{2\lambda_{placa}} \right)}_{b_2^{-1}} - \frac{\dot{m}_{out} C_{p,out} T_{f,out}}{HyHz} = \frac{d}{dt} (\rho C_p T)_{placa} A \Delta x \quad (2)$$

Placa absorbente metálica

De igual forma que en el balance de energía de la cubierta de vidrio, para la placa absorbente metálica se consideraron los efectos convectivos y conductivos combinados en la misma resistencia térmica. El término del efecto de intercambio radiativo superficial ($h_{rad,vidrio-placa}$) es el mismo que el mostrado en la Ec. (1). La radiación solar incidente que absorbe la placa metálica es la componente transmitida por la cubierta de vidrio.

$$\underbrace{\left(\frac{1}{h_{rad,vidrio-placa}} \right)}_{c_1^{-1}} + \underbrace{\left(\frac{1}{h_{f-placa}} + \frac{Hx_{placa}}{2\lambda_{placa}} \right)}_{c_2^{-1}} A_{int} + \alpha_{placa}^* \tau_{vidrio}^* G_{solar} A_{int} - \underbrace{\left(\frac{Hx_{placa}}{2\lambda_{placa}} + \frac{\Delta x_{aislante}}{2\lambda_{aislante}} \right)}_{c_3^{-1}} A_{out} = \frac{d}{dt} (\rho C_p T)_{placa} A \Delta x \quad (3)$$

Aislante térmico

El aislante térmico en la ChSo-SC es vital para reducir el flujo de calor de la pared absorbente hacia el ambiente interno del recinto al que esté conectado la chimenea solar. El balance de energía consideró el efecto de la conducción de calor a través de esta componente y los efectos convectivos y radiativos con el ambiente interno del recinto.

$$\underbrace{\left(\frac{Hx_{placa}}{2\lambda_{placa}} + \frac{Hx_{aislante}}{2\lambda_{aislante}} \right)}_{d_1^{-1}} A_{int} - \underbrace{\left(\frac{Hx_{aislante}}{2\lambda_{aislante}} + \frac{1}{h_{conv-int} + h_{rad-int}} \right)}_{d_2^{-1}} A_{out} = \frac{d}{dt} (\rho C_p T)_{aislante} A \Delta x \quad (4)$$

Los términos temporales se sustituyeron por una aproximación atrasada de primer orden a través del método de diferencias finitas. Las Ecs. (1-4) se agruparon en una matriz de tal manera que se formó un sistema de ecuaciones que representa el modelo completo de la ChSo-SC.

$$\begin{bmatrix} a_1 + a_2 \\ +a_3 + a_4 \\ +a_{p0} \\ b_1 \\ c_1 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_3 & a_4 & 0 \\ (b_1 + b_2) & b_2 & 0 \\ c_2 & (c_1 + c_2) & c_3 \\ 0 & 0 & d_1 & (d_1 + d_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{vidrio} \\ T_{fluido} \\ T_{placa} \\ T_{aislante} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 T_{vidrio} + a_2 T_{sky} + a_3 T_{fluido} + a_4 T_{placa} + \alpha_{vidrio}^* G_{solar} + a_{p0} T_{vidrio}^0 \\ b_1 T_{vidrio} + b_2 T_{placa} + M_f + a_{p0} T_{fluido}^0 \\ c_1 T_{vidrio} + c_2 T_{fluido} + c_3 T_{aislante} + \alpha_{placa}^* \tau_{vidrio}^* G_{solar} + a_{p0} T_{placa}^0 \\ d_1 T_{placa} + d_2 T_{int} + a_{p0} T_{aislante}^0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Para estimar el flujo másico inducido por la chimenea solar se empleó la relación reportada por Ong [9].

$$\dot{m} = C_d \frac{\rho_{fluido,out} A_{out}}{\sqrt{1 + A_{int}/A_{out}}} \sqrt{\frac{2gHy(T_{fluido} - T_{int})}{T_{int}}} \quad (6)$$

En la Tabla 1 se muestran las propiedades de los elementos que componen la ChSo-SC.

Tabla 1. Propiedades del sistema. Tomado/Adaptado de [10]-[13].

Cubierta de vidrio	Placa de metal (aluminio) superficie color negro	Poliestireno extruido (foamular)	Canal de aire	Información adicional
Hx = 0.006 m	Hx = 0.0015875 m	Hx = 0.025 m	Hx = 0.15 m	Hy = 2.0m Hz = 1.0 m g = 9.81 ms ⁻²
$\lambda = 1.40 \text{ W}(\text{kg}^\circ\text{C})^{-1}$ $C_P = 750.0 \text{ J}(\text{kg}^\circ\text{C})^{-1}$ $\rho = 2500.0 \text{ kg m}^{-3}$ $\varepsilon = 0.840$ $\alpha^* = 0.076$ $\tau^* = 0.849$	$\lambda = 177.0 \text{ W}(\text{kg}^\circ\text{C})^{-1}$ $C_P = 875.0 \text{ J}(\text{kg}^\circ\text{C})^{-1}$ $\rho = 2770.0 \text{ kg m}^{-3}$ $\varepsilon = 0.9$ $\alpha^* = 0.97$	$\lambda = 0.0001T + 0.0262 \text{ W}(\text{kg}^\circ\text{C})^{-1}$ $C_P = 1210.0 \text{ J}(\text{kg}^\circ\text{C})^{-1}$ $\rho = 21.0 \text{ kg m}^{-3}$ $\varepsilon = 0.82$	$\lambda, C_P, \rho =$ Relaciones empíricas (Arce et al., 2013)	$h_{\text{int}} = 10.0 \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ $h_{\text{ext}} = 2.8 + 3.0V_{\text{wind}} \text{ W m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ Orientación cubierta de vidrio: oeste $\Delta t = 5$ segundos

Algoritmo de solución

En la Figura 2 se presenta el diagrama de flujo del algoritmo de solución de la ChSo-SC.

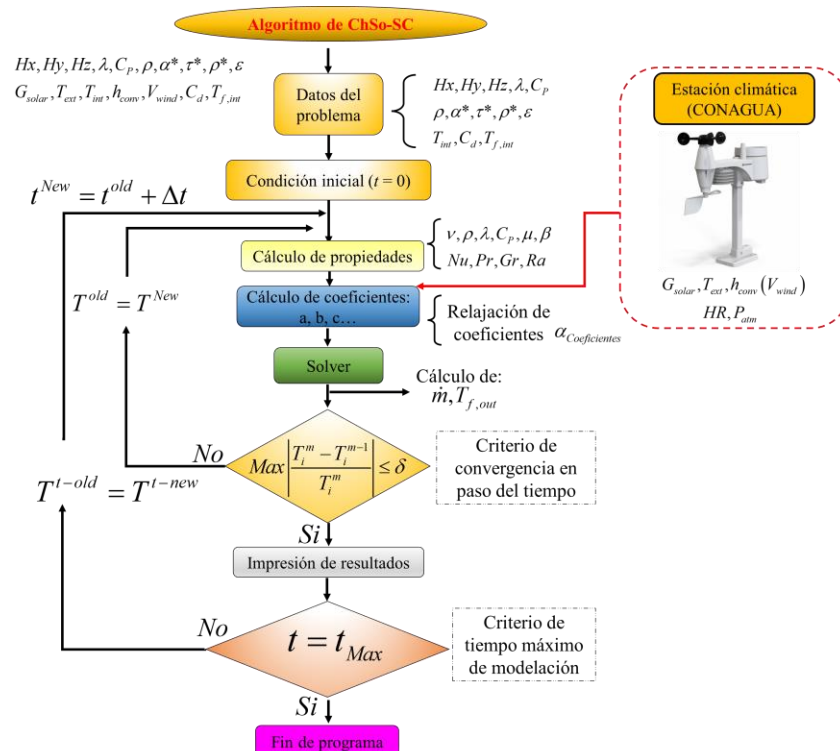


Figura 2. Algoritmo de solución de la ChSo-SC

Para la etapa del “Solver”, Figura 2, se empleó el método de Gauss-Seidel para la solución del sistema de ecuaciones de la ChSo-SC, Ec. (5). Para la solución del modelo de la ChSo-SC se desarrolló un código computacional desarrollado en el lenguaje de programación ANSI-C. Las corridas computacionales se llevaron a cabo en una plataforma computacional con procesador Intel Core i5-8265U con 1.6GHz y 8GB de RAM, en un sistema operativo GNU/Linux (Ubuntu 18.05 de 64 bits).

Descripción del caso de estudio

El estudio comprende la evaluación anual de la capacidad de ventilación de la ChSo-SC bajo las condiciones de clima cálido-húmedo de la ciudad de Villahermosa, Tabasco. Por lo tanto, se obtuvieron los datos climáticos recopilados de un año por la estación meteorológica de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) correspondientes al año 2018. Posteriormente, se seleccionaron los días más cálidos y fríos de cada mes para la evaluación del sistema pasivo con el modelo matemático desarrollado. En la Figura 3 se presentan los datos

climáticos de los 24 días seleccionados para la evaluación de la ChSo-SC. Las variables consideradas para el modelo desarrollado son: radiación solar incidente, temperatura ambiente, velocidad del viento, humedad relativa y presión atmosférica. En la Figura 3 se presenta la radiación solar incidente descompuesta en diferentes orientaciones, mientras que, en la sección de los resultados, se describe el comportamiento de las variables de la ChSo-SC tomando en cuenta la radiación solar incidente para la orientación respectiva de la ChSo-SC.

El intervalo de tiempo para la solución numérica empleado fue de $\Delta t = 5$ s, mientras que, para alcanzar una independencia de la condición inicial en los valores de temperatura y flujo de aire inducidos por el sistema pasivo, se llevó a cabo una modelación de tres días en total para cada día respectivamente de los 24 días seleccionados para todo el año. Esto quiere decir que para cada día cálido y frío se evaluaron dos días previos adicionales con el fin de obtener un comportamiento independiente de la condición inicial. Al inicio de cada día de modelación, los valores de temperatura de cada elemento del sistema se consideraron a temperatura ambiente, posteriormente un análisis de los resultados en los días de modelación subsecuentes arrojó variaciones mínimas en el comportamiento del sistema a partir de la condición inicial, por lo que se optó por tomar los datos correspondientes al tercer día de modelación de cada configuración de día cálido y frío de cada mes a lo largo del año de estudio.

Se consideró que la orientación de la ChSo-SC es hacia el oeste, ya que en esta orientación se registraron elevados índices de radiación solar incidente necesarios para el funcionamiento de estos sistemas pasivos.

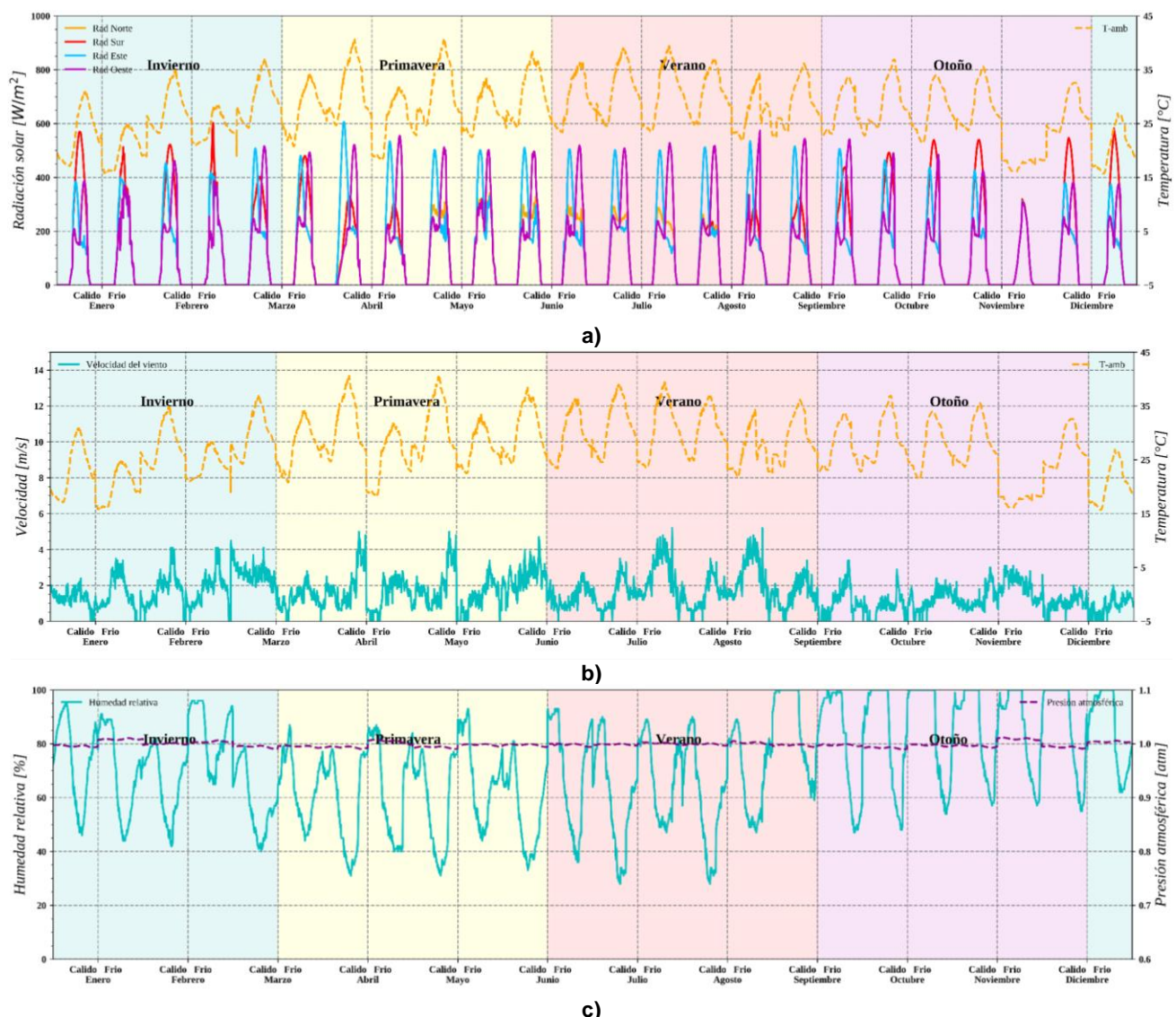


Figura 3. Datos climáticos (CONAGUA): a) radiación solar y temperatura ambiente, b) velocidad del viento, c) humedad relativa y presión atmosférica

El modelo de la ChSo-SC fue validado a través de los resultados obtenidos de un prototipo de chimenea solar experimental evaluado bajo condiciones de flujo de calor constante en la placa absorbente dentro de un laboratorio. En la Figura 4 se presenta la evolución del flujo másico inducido por la ChSo-SC considerando un flux de calor de 300 Wm^{-2} sobre la placa absorbente y un espesor del canal de 0.15 m; se compararon los resultados obtenidos por el modelo teórico y los datos experimentales registrados. El comportamiento del flujo másico en ambos casos presenta la misma tendencia durante las 21 horas de evaluación. El valor de desviación (RMSD, "Root Mean Square Deviation") para el caso mostrado en la Figura 4 es de 5.46%. Por lo tanto, se estableció que los resultados del modelo teórico en estado transitorio y la metodología de solución empleada son satisfactorios. El modelo permite reproducir el fenómeno reduciendo el desfase en la etapa de transición.

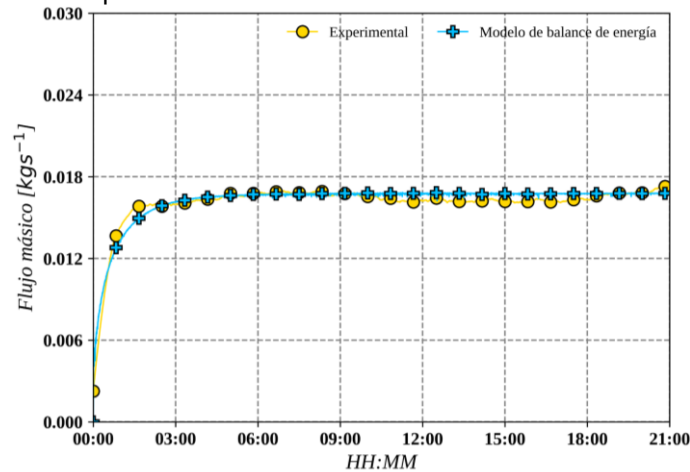


Figura 4. Flujo másico: comparación entre solución numérica y datos experimentales de prototipo de chimenea solar

Resultados y discusión

En las Figuras 5(a)(b) y (c) se presentan los comportamientos de flujo de aire y temperaturas de cada elemento de la evaluación anual de la ChSo-SC. En la Figura 5(a) se observa que los flujos de aire más altos se registraron durante las estaciones de primavera y verano. El flujo de aire inducido, así como el comportamiento térmico de la placa absorbente metálica y la cubierta de vidrio presentaron un comportamiento similar a los cambios de la radiación solar incidente. La ChSo-SC fue capaz de inducir hasta poco más de 0.05 kg s^{-1} o $160 \text{ m}^3 \text{ hr}^{-1}$ como flujo de aire máximo; este comportamiento se observó durante el mes de abril.

Durante las primeras horas de modelación de cada día a lo largo de todo el año, la chimenea solar actuó bajo los efectos de los cambios de temperatura externa y la radiación solar incidente, sin embargo, esta última corresponde a la radiación difusa ya que, es hasta después del mediodía, que la trayectoria del Sol permite recibir radiación solar directa sobre la ChSo-SC. Por esta razón, las Figuras 5(a)(b) y (c) presentan variaciones justo al medio día en el que se registran aumentos súbitos de flujo de aire en el canal y de la temperatura de las componentes de la chimenea solar. Debido a las propiedades de la placa metálica, esta componente es la que presentó las temperaturas más altas de todo el sistema ya que llegaron a superar los 75°C en su superficie.

Para inducir una mayor ventilación, se requiere que la componente que mayor energía debe recibir es la placa o pared absorbente. Sin embargo, el considerable aumento de la temperatura de esta componente es también consecuencia de su baja inercia térmica. La energía recibida es almacenada en forma de calor sensible y como consecuencia directa el incremento de energía almacenada se reflejó directamente en la temperatura del elemento. La placa metálica al tener una baja inercia térmica presenta retrasos mínimos en el perfil de comportamiento respecto a los cambios de radiación solar incidente; lo cual se refleja también en el flujo de aire inducido ya que la placa absorbente transfiere su energía almacenada de forma inmediata a los elementos adyacentes a ella, en este caso al fluido del interior del canal de aire y el aislante térmico. Por esta razón, los perfiles de flujo de aire inducidos a lo largo del día presentaron retrasos similares respecto a las variaciones de radiación solar incidente en la ChSo-SC.

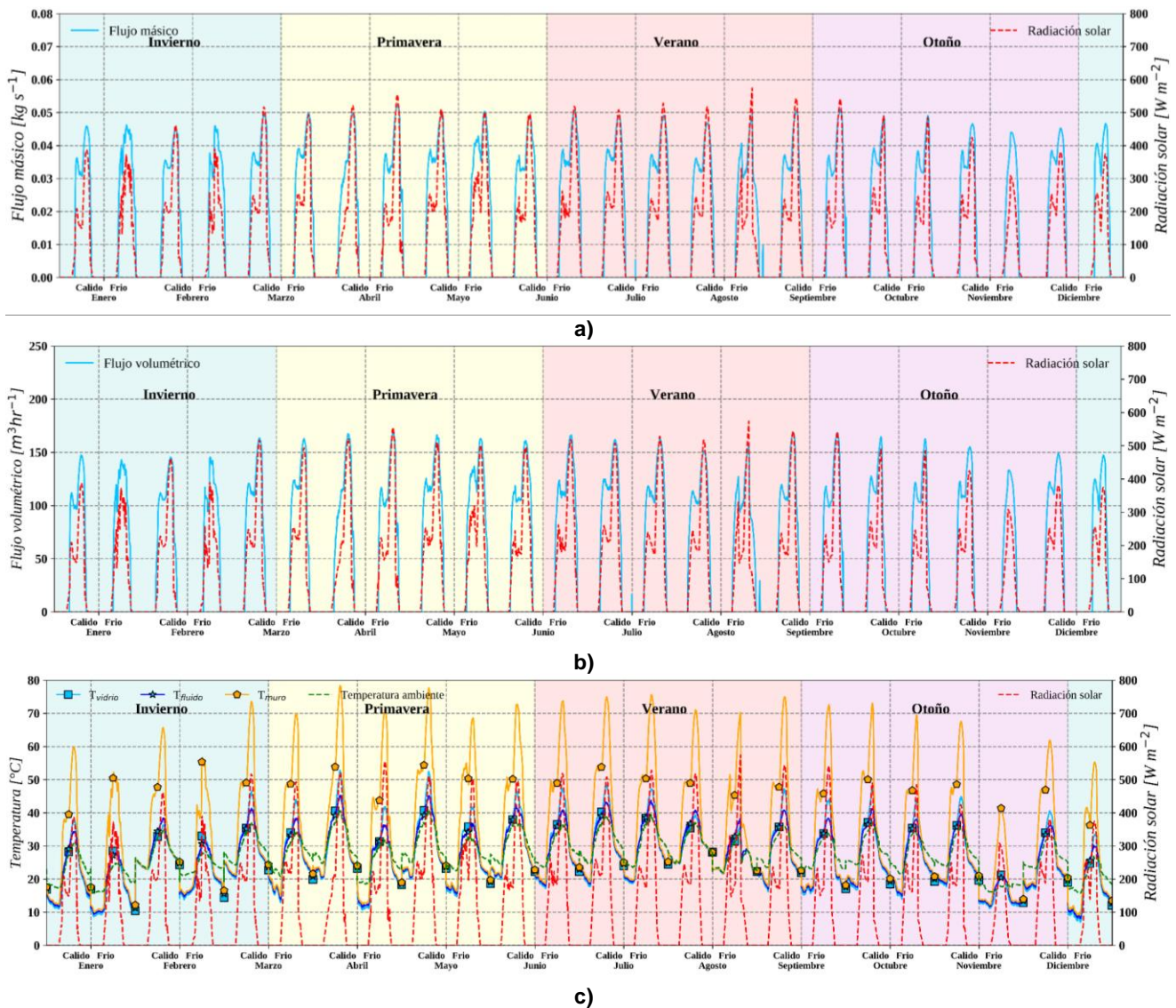


Figura 5. Comportamiento anual de la ChSo-SC: a) flujo másico, b) flujo volumétrico, c) temperaturas

El efecto de la inercia térmica también se refleja en el tiempo de operación de las chimeneas solares. En edificios no residenciales la mayor demanda de ventilación ocurre en horarios diurnos en donde las chimeneas solares funcionan sin problema. Sin embargo, para las aplicaciones residenciales y sobre todo en regiones donde las condiciones climáticas ocasionan que la demanda de ventilación natural también sea durante horarios nocturnos, configuraciones de placas o paredes absorbentes como la del presente estudio necesitan modificaciones para incrementar la capacidad de almacenamiento de energía y así extender el tiempo de operación.

En cuanto a la capacidad de ventilación de la ChSo-SC a lo largo del año, en la Tabla 2 se presentan los valores de flujo volumétrico promedio para cada día mostrado en la Figura 4(b). Estos valores se compararon con los requerimientos mínimos de ventilación establecidos por la **ANSI/ASHRAE 62.2-2019** [1]. Adicionalmente, en la Tabla 2 se presenta el tiempo de operación de la ChSo-SC para cada día evaluado.

Tabla 2. Flujo volumétrico promedio y tiempo de operación

Mes	Flujo volumétrico [$\text{m}^3 \text{hr}^{-1}$]		Tiempo de operación [hr]	
	Día cálido	Día Frio	Día cálido	Día Frio
Enero	47.5681	52.1801	9.07	9.55
Febrero	55.5316	47.8256	11.50	9.08
Marzo	60.1006	58.0645	11.11	10.48
Abril	56.4740	61.2973	11.07	11.12
Mayo	66.2845	65.6501	11.09	11.51
Junio	64.7840	68.0804	11.93	12.00
Julio	65.6295	66.3808	11.73	12.16
Agosto	64.1616	62.0673	12.43	13.25
Septiembre	61.4261	58.8957	11.28	10.92
Octubre	51.7061	49.4959	9.86	9.65
Noviembre	50.2160	39.5475	9.34	7.80
Diciembre	54.4431	47.2303	10.05	8.48

De acuerdo con lo reportado en la **ANSI/ASHRAE 62.2-2019[1]** la ventilación total requerida para un espacio o recinto de 9m^2 con una altura de 3m es de $30.06\text{m}^3\text{hr}^{-1}$ y como se muestra en la Tabla 2, los valores promedio de flujo de aire generado por la ChSo-SC a lo largo del año fueron superiores a este requerimiento. Incluso al aumentar el área del recinto a 18m^2 , la ventilación total requerida es de $47.52\text{m}^3\text{hr}^{-1}$, lo cual también se cumple la mayor parte del año a excepción del día frío de diciembre en el que el flujo volumétrico promedio para este día fue de $47.23 \text{m}^3\text{hr}^{-1}$. Por lo tanto, la ChSo-SC satisface las necesidades básicas de ventilación de una edificación de las dimensiones antes mencionadas. Al aumentar el área del recinto a 36m^2 la ventilación total requerida aumenta a $82.44 \text{m}^3\text{hr}^{-1}$, por lo que la ChSo-SC no logra cubrir el mínimo de ventilación necesario bajo los parámetros establecidos en este estudio. Los flujos volumétricos promedio más altos registrado en el presente estudio como se muestra en la Tabla 2 fueron de 68.08 y $66.28 \text{m}^3\text{hr}^{-1}$ para el día frío de junio y día cálido de mayo respectivamente.

En cuanto al tiempo de operación, la ChSo-SC permitió obtener un intervalo de funcionamiento entre las 8.48 y 13.25 horas continuas. Lo cual es suficiente para un funcionamiento diurno donde se requiera el uso de sistemas de ventilación. Sin embargo, es necesario modificar el tipo de material de la placa absorbente de la ChSo-SC para aumentar la masividad de este elemento y así incrementar el almacenamiento de energía que permita extender el tiempo de operación.

Trabajo a futuro

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio, se concluye que aún deben estudiarse y analizarse con detenimiento el análisis de parámetros como las dimensiones de la ChSo-SC, de tal manera que permitan aumentar y optimizar su funcionamiento con el fin de aumentar el flujo de aire generado para aplicaciones con mayores demandas de ventilación. Otro de los parámetros importantes a considerar es la evaluación del comportamiento del sistema en diferentes orientaciones. En cuanto al tiempo de operación de la ChSo-SC es necesario evaluar la implementación de materiales masivos en la placa o pared absorbente que permita aumentar la capacidad de almacenamiento de energía y por lo tanto el tiempo de operación.

Conclusiones

En el presente estudio se evaluó la ChSo-SC bajo las condiciones climáticas de un año de la ciudad de Villahermosa, Tabasco. Se propuso el modelo matemático en estado transitorio y a través de balances de energía para cada componente de la chimenea solar, así como el fluido al interior del canal vertical. La pared absorbente empleada para la ChSo-SC fue de metal y se consideró al sistema con una orientación oeste.

La ChSo-SC generó mayores flujos de aire durante las estaciones de primavera y verano de poco más 0.05kg s^{-1} o $160 \text{m}^3 \text{hr}^{-1}$, además de que los valores promedios de flujo volumétrico fueron suficientes para satisfacer los requerimientos de ventilación total para un espacio o recinto de 18m^2 de área de acuerdo con la **ANSI/ASHRAE 62.2-2019[1]**.

Debido a la configuración de placa absorbente de metal, el tiempo de operación de la ChSo-SC a lo largo de todo el año fue de entre 8.48 y 13.25 horas; lo cual es suficiente para satisfacer una demanda de ventilación en horarios diurnos, sin embargo, para extender el tiempo de operación a horarios nocturnos, es necesario realizar un estudio incluyendo materiales masivos como concreto, ladrillo o incluso materiales de cambio de fase que puedan aumentar la capacidad de almacenamiento de energía y así proveer ventilación natural durante más tiempo.

Aún es necesario realizar un estudio paramétrico más a fondo para determinar el impacto de las dimensiones, materiales, orientaciones e incluso condiciones climáticas y así realizar un diseño óptimo de una chimenea solar bajo las condiciones climáticas de la República Mexicana. El presente estudio demuestra la capacidad de este tipo de sistemas pasivos para proveer ventilación natural en climas cálidos húmedos y convertirse así en una alternativa para sustituir el uso de sistemas activos de ventilación que día a día son la causa de un consumo excesivo de energía eléctrica y recursos naturales.

Nomenclatura

A	Área [m]
C_p	Calor específico [J/kgK]
C_d	Coefficiente de descarga [-]
g	Gravedad [m s ⁻²]
G_{solar}	Radiación solar [W/m ²]
Gr	Grashof [-]
$h_{conv-ext}$	Coefficiente convectivo exterior [W/m ² K]
h_{rad}	Coefficiente radiativo [W/m ² K]
H_x, H_y, H_z	Distancia sobre eje x, y, z [m]
L	Longitud [m]
M	Flux de calor extraído por flujo de aire [W/ m ²]
\dot{m}	Flujo másico [kg/s]
N_x, N_y	Número de nodos [-]
Nu	Nusselt [-]
Pr	Prandtl [-]
Ra	Rayleigh [-]
T	Temperatura [°C]
t	Tiempo [s]
\dot{V}	Flujo volumétrico [m ³ hr ⁻¹]
x, y, z	Eje x, y, z [m]

Griegas

α^*	Absortancia [-]
α	Coefficiente de relajación [-]
β	Coefficiente de expansión volumétrica [K ⁻¹]
Δ	Diferencia [-]
δ	Criterio de convergencia [-]
ε	Emitancia [-]
η	Eficiencia [-]
λ	Conductividad térmica [W/mK]
μ	Viscosidad dinámica [N s m ⁻²]
ν	Viscosidad cinemática [m ² s ⁻¹]
ρ	Densidad [kg/m ³]
ρ^*	Reflectancia [-]
σ	Constante de Stefan-Boltzmann []
τ^*	Transmitancia [-]

Subíndices y superíndices

<i>aislante</i>	Aislante térmico
<i>amb</i>	Ambiente
<i>conv</i>	Convectivo
<i>cond</i>	Conductivo
<i>ext</i>	Exterior
<i>f, fluido</i>	Fluido al interior del canal
<i>Int</i>	Entrada
<i>i</i>	Elemento
<i>Max</i>	Maximo
<i>New</i>	Iteración actual
<i>Old</i>	Iteración anterior
<i>Out</i>	Salida
<i>placa</i>	Placa metálica
<i>rad</i>	Radiativo
<i>Sol</i>	Solido
<i>sky</i>	Cielo
<i>t</i>	Tiempo
<i>t-new</i>	Tiempo actual
<i>t-old</i>	Tiempo anterior
<i>vidrio</i>	Cubierta de vidrio
<i>wind</i>	Viento

Referencias

- [1] ANSI/ASHRAE 62.2-2019, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality in Residential Buildings, 2019.
- [2] H.B. Awbi. Ventilation of buildings. Londres: Taylor & Francis, 2003.
- [3] Z. Wang, Y. Wang, R. Zeng, R. Srinivasa and S. Ahrentzen, "Random Forest based hourly Building Energy Prediction," *Energy and Buildings*, vol. 171, pp. 11-25, 2018.
- [4] International Energy Agency, Key World Energy Statistics. Paris: International Energy Agency, 2019.
- [5] International Energy Agency. (2021) Energy efficiency. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2021>
- [6] I. Zavala-Guillén, J. Xamán, I. Hernandez-Pérez, I. Hernandez-Lopez, M. Gijón-Rivera and Y. Chávez, "Numerical study of the optimum width of 2^a diurnal double air-channel solar chimney," *Energy*, vol. 147, pp. 403-417, 2018.
- [7] A. Tlatelpa-Becerro, R. Rico-Martínez, E. Reynoso-Jardón, G. Urquiza, L. Castro-Gómez, E. Sanchez, A. Ojeda, A. García, A. Sosa and U. Luvando, "Simulación numérica de una chimenea solar vertical con tres canales de flujo de aire," *Memorias del XXV Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, pp. 1-5, 2019.
- [8] C. Jiménez-Xamán, J. Xamán, M. Gijón-Rivera, I. Zavala-Guillén, F. Noh-Pat and E. Simá, "Assessing the thermal performance of a rooftop solar chimney attached to a single room," *Journal of Building Engineering*, vol. 31, pp.101380, 2020.
- [9] K.S. Ong, "A mathematical model of a solar chimney," *Renewable Energy*, vol. 81, pp.614-622, 2003.
- [10] F.P. Incropera and D.P. DeWitt. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. New York: Wiley, 1996.
- [11] M. Kumaran. *Final Report, Volume 3, Task 3: Material Properties*. Belgica: International Energy Agency, 1996.
- [12] J. Arce, J.P. Xamán, G. Álvarez, M.J. Jiménez, R. Enríquez and M.R. Heras, "A Simulation of the Thermal Performance of a Small Solar Chimney Already Installed in a Building," *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 135, pp. 011005-1 – 011005-10, 2013.
- [13] *Standard Specification for Rigid, Cellular Polystyrene Thermal Insulation*, ASTM C578-01, 2002.

SISTEMA DE MONITOREO DE CRECIMIENTO DE MICROORGANISMOS POR MÉTODOS NO INVASIVOS DE TIPO CAPACITIVO

Alitzel Dayanara Flores Rocha^{1*}, Carlos Omar González-Morán¹
Laboratorio de Materiales y Procesos Inteligentes, Centro Universitario UAEM Valle de México. Boulevard
Universitario s/n Predio San Javier, C.P.54500,
Atizapán de Zaragoza, Estado de México, México

Área de participación: Ingeniería eléctrica y electrónica

Resumen

El crecimiento de los sistemas biológicos puede describirse como la multiplicación de cada uno de los elementos que componen dicho sistema, lo que implica un aumento de la masa celular que finalmente conduce a la multiplicación de las células. En los organismos multicelulares este mecanismo induce al crecimiento del organismo, mientras que en los organismos unicelulares lo que ocurre es un aumento de la población, la capacitancia eléctrica es un medio que nos ayudará a obtener datos en diversos tiempos. El seguimiento del crecimiento bacteriano es importante, especialmente en el área de la biotecnología. El sensor de tipo capacitivo ofrece grandes ventajas para el registro de masa muy pequeña.

Palabras Clave: *Monitorear, crecimiento, reproducción, biotecnología.*

Abstract

The growth of biological systems can be described as the multiplication of each of the elements that make up the system, which implies an increase in cell mass that eventually leads to cell multiplication. In multicellular organisms this mechanism induces the growth of the organism, while in unicellular organisms what occurs is an increase in the population, the electrical capacitance is a means that will help us to obtain data at various times. The monitoring of bacterial growth is important, especially in biotechnology. The capacitive sensor offers a good option to record very small quantity of mass.

Keywords: *Monitoring, growth, reproduction, biotechnology.*

Introducción

En las bacterias, el aumento de tamaño de la célula (crecimiento) y la reproducción por división celular están estrechamente relacionados, como en la mayoría de los organismos unicelulares. Las bacterias crecen hasta un tamaño determinado, y después son capaces de reproducirse por fisión binaria, una especie de reproducción asexual. En condiciones adecuadas, las bacterias Gram-positivas pueden dividirse cada 25 minutos y las Gram-Negativas alrededor de 15 minutos, lo que significa que en 16 horas la población de bacterias puede alcanzar los 5,000 millones. En condiciones óptimas ciertos tipos de bacterias pueden alcanzar tasas de crecimiento de multiplicar por dos la población cada 10 minutos.

La reproducción asexual está presente en varios tipos de bacterias, a pesar de que presentan estructuras reproductivas complejas, dichas estructuras facilitan la dispersión de las células recién creadas, ejemplos de esta reproducción incluyen la formación de cuerpos fructíferos (esporangios) en las mixobacterias, la formación de hifas en *Streptomyces* y la gemación. La gemación en una célula forma un bulto que luego se separa produciendo una nueva célula.

Por otro lado, existe un tipo de reproducción sexual en las bacterias llamado parasexual bacteriano. En este caso, las bacterias son capaces de intercambiar material genético en un proceso conocido como conjugación bacteriana. Durante el procedimiento, las bacterias donantes y receptoras realizan a través de un orificio de contacto un intercambio de ADN independiente. El ejemplo más común de esto es el plásmido F de *E. coli*, que también puede integrarse en el cromosoma bacteriano de arrastre. Se requiere para la síntesis de ADN que se produzca la conjugación [1].

Fases del crecimiento bacteriano

Cuando una población bacteriana se encuentra en un nuevo entorno, con alta concentración de nutrientes que le permiten crecer, la bacteria necesita un periodo de adaptación a dicho entorno este periodo de adaptación se denomina ciclo de crecimiento bacteriano y, sigue tres fases principales. Esta primera fase se denomina fase de adaptación o fase de retardo e implica un crecimiento lento, en el que las células se preparan para iniciar un crecimiento rápido, y una alta tasa de biosíntesis de las proteínas necesarias para ello, como ribosomas, proteínas de membrana [2]. La segunda fase se denomina fase de crecimiento exponencial, ya que se caracteriza por el crecimiento exponencial de las células. La tasa de crecimiento durante esta fase se denomina tasa de crecimiento k y el tiempo que tarda cada célula en dividirse como tiempo de generación g . Durante esta fase, los nutrientes se metabolizan a la máxima velocidad hasta que se agotan, dando paso a la siguiente fase. La última fase se denomina fase de crecimiento estacionario y se produce como resultado del agotamiento de los nutrientes en el medio. En esta fase las células reducen su actividad metabólica y comienzan a utilizar como consumir proteínas celulares no esenciales. La fase estacionaria es una transición del crecimiento rápido a un estado de respuesta al estrés, en el que se activa la expresión de los genes implicados en la reparación del ADN en el metabolismo antioxidante y el transporte de nutrientes. En la Figura 1 se presenta un esquema del ciclo de crecimiento completo.

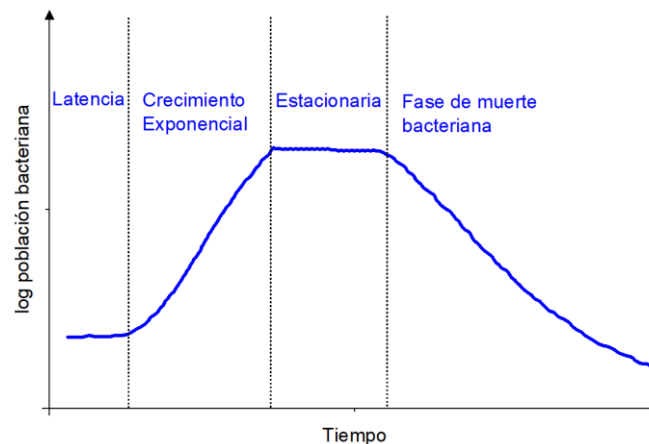


Figura 1 Ciclo de crecimiento bacteriano.

Se han desarrollado varios tipos de sensores para monitorear el crecimiento celular, como los sensores de sonda, los nanomecánicos, los basados en láser de turbidez, los de balanza de cuarzo, los basados en líneas de transmisión coplanares, etc., en este trabajo se propone un sensor dieléctrico para monitorear el crecimiento celular.

Medios de cultivo

Para el cultivo de hongo se ocupó uno de los más conocidos el cual es **Agar Dextrosa de Patata (PDA)** el cual se utiliza para el cultivo de hongos. El Agar Dextrosa Patata (PDA) es un medio de uso general para levaduras y mohos que se puede complementar con ácido o antibióticos para inhibir el crecimiento bacteriano. Se recomienda para métodos de recuento de platos para alimentos, productos lácteos y pruebas de cosméticos. La PDA se puede usar para cultivos de levaduras y mohos clínicamente significativos. La base nutricionalmente rica (infusión de papa) estimula la esporulación de moho y la producción de pigmento en algunos dermatofitos.

Potato Dextrosa Agar este compuesto por infusión de papa deshidratada y Dextrosa que estimulan el crecimiento de hongos exuberantes. Agar se agrega como agente solidificante. Muchos procedimientos estándar utilizan una

cantidad específica de ácido tartárico estéril (10%) para baja PH de este medio a 3.5 +/- 0.1, lo que inhibe el crecimiento bacteriano [3] [4].

Capacitancia:

Desde la física básica, un condensador se define como un dispositivo que tiene la capacidad de mantener la carga eléctrica y la energía potencial eléctrica en forma de campo eléctrico, su estructura básica está formada por dos capas metálicas (llamadas electrodos) separadas entre sí por un medio dieléctrico. La capacitancia se define en la Ecuación 1 y depende de las dimensiones físicas y la geometría de los electrodos y de la permitividad dieléctrica relativa del medio entre los electrodos, entonces cuando se utiliza una geometría fija se puede detectar cualquier cambio en las propiedades dieléctricas.

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 A}{d} \quad (1)$$

Donde ϵ_0 es la permitividad del vacío, ϵ la permitividad del medio, A el área de los electrodos y, d la separación entre electrodos.

Utilizando una solución líquida con bacterias como material dieléctrico y, electrodos metálicos adheridos a la cristalería, se crea un sensor capacitivo, en este caso es posible obtener no sólo la variación de la población de bacterias, sino también calcular la población misma.

La capacitancia de un dispositivo es la medida de su capacidad de almacenar carga y energía potencial eléctrica entre sus conductores y un dieléctrico [5], almacenando así energía en forma de campo eléctrico. También se le denomina de esta manera a la propiedad de un circuito de oponerse al cambio en la magnitud de tensión a través del circuito. A este dispositivo se le denomina Capacitor cuyas unidades son los Faradios y su símbolo eléctrico es como se muestra en la Figura 2.



Figura 2 Símbolo eléctrico del capacitor.

Capacitor de dos placas paralelas:

Un capacitor se compone básicamente de 2 placas conductoras paralelas, separadas por un aislante denominado dieléctrico [6]. Si a las placas se le aplica una diferencia de potencial o voltaje por medio de unas pilas o una fuente, al incrementar en voltaje V la carga Q almacenada en las placas incrementa de forma directamente proporcional. Por consiguiente, la razón de la cantidad de carga Q al potencial V producido, será constante para un material conductor dado. Esta razón refleja la capacidad para almacenar carga y se llama capacitancia C. dos placas paralelas de igual área A están separadas a una distancia como se muestra en la Figura 3. Una placa tiene carga Q+ y la otra -Q en un instante de tiempo ya que existe alternancia eléctrica cuando este se utiliza.

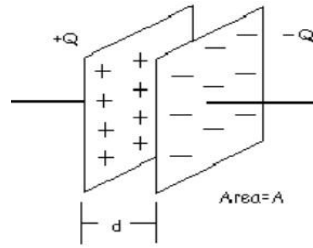


Figura 3 Características físicas de un capacitor.

La capacitancia se define en esta situación por:

$$C = \frac{\epsilon A_s}{d} \quad (2)$$

Donde:

C es la capacidad, en Faradios.

A_s es el área superficial de las placas metálicas, en metros cuadrados.

ε es la constante dieléctrica;

d es la separación entre las placas, en metros.

La expresión matemática la podemos ver gráficamente en la Figura 4.

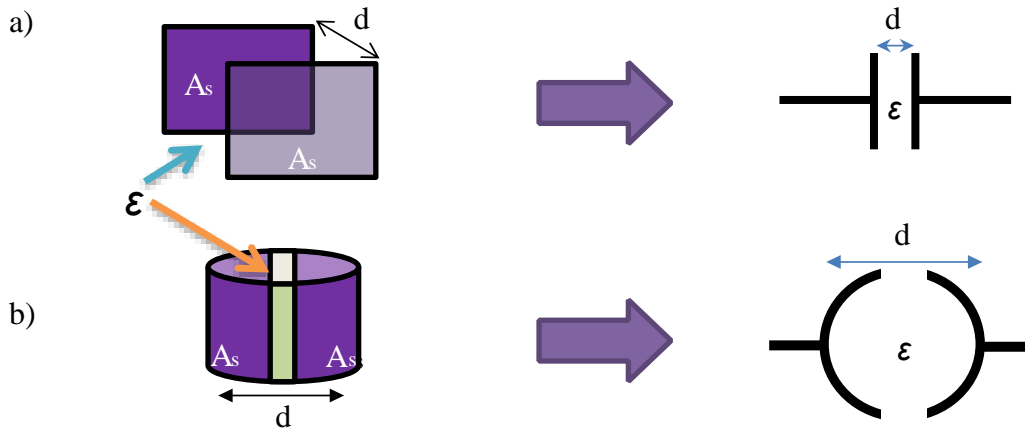


Figura 4 a) Capacitor de manera física, b) Capacitor en la forma cilíndrica para el monitoreo

En el sistema de monitoreo a desarrollar el área superficial de cada placa cambia de una forma plana a una forma cóncava (ver Figura 3b), esto significa que la Eq. 2 se transforma en la Eq. 3 tomando en cuenta el volumen de un tubo como se observa en la Figura 5, al separarlo la mitad.

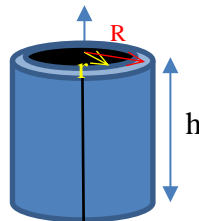


Figura 5 Separación de placas de un tubo para el Capacitor cilíndrico

$$C = \frac{\epsilon\pi(R^2 - r^2)}{2d} \quad (3)$$

Donde:

C es la capacidad, en Faradios.

R es el Radio mayor, en metros cuadrados.

r es el Radio menor, en metros cuadrados.

ε es la constante dieléctrica.

d es la separación entre las placas, en metros.

PLX-DAQ Aplicación de Parallax

La herramienta de adquisición de datos de Parallax (PLX-DAQ) es un complemento de software para Microsoft Excel que adquiere hasta 26 canales de datos de cualquier microcontrolador Parallax y coloca los números en columnas a medida que llegan. PLX-DAQ proporciona un fácil análisis en hoja de cálculo de los datos recogidos en el campo, análisis y monitorización de los datos en tiempo real [7].

Metodología

Para poder monitorear el crecimiento de microorganismos se usó un sistema de tipo capacitivo para obtener datos, el primer experimento se hizo con (agua y papa dextrosa), el segundo experimento fue con (agua, papa dextrosa e ingrediente artificial (cátsup) [8].

Para poder estudiar el crecimiento de las bacterias, se definieron diversos pasos: el proceso inicia con un plan de muestreo con material respectivo de los análisis de microorganismos a realizar, una vez definido lo anterior se procede a recolectar los datos por 48 horas, analizarlos y establecer las conclusiones respectivas. Con el fin de darle la utilización a la información en beneficio de la calidad de las bacterias que arrojan estos nutrientes a continuación se describe brevemente cada uno de los pasos en el diseño de metodología.

Las muestras deben tomarse en puntos estratégicos en los que se obtendrá información valiosa, relativa a posibles riesgos en los procedimientos y también relativa a aspectos críticos relacionados con la calidad del ambiente y deterioro del material externo. La estrategia diseñada considera fuentes externas en un ambiente de muestreo. Estas fuentes pueden contribuir a la contaminación microbiana de las muestras, como lo son el aire, humedad y temperatura. El diseño del plan de muestreo debe entonces considerar las tres fuentes de contaminación y las etapas que tiene control sobre esa contaminación.

Se define el plan de muestreo durante 48 horas, sin movimiento externo para las muestras, en un lugar a temperatura ambiente con ráfagas de viento normales, al igual que si se involucra calor intenso o humedad se puede adquirir mayor deterioro en los muestreos y mostrar mayor actividad en crecimiento bacteriano.

Ambas muestras tendrán tiempos definidos para la toma de datos y al comparar dichas muestras se podrá determinar una comparación de un crecimiento constante, neutral o sin movimiento. El tener diversas muestras se podrá adquirir con mayor definición cuales son los puntos estratégicos fuera del ambiente inicial y cuales podrán ser factores clave para su incremento o muerte.

Los electrodos son de aluminio se pusieron de manera externa del frasco donde se colocó la muestra a medir, de tal manera que se evitó el contacto físico con las bacterias, el sensor capacitivo se esterilizó utilizando una autoclave a 120°C durante 15 minutos, luego se preparó el medio de cultivo utilizando Luria-Bertani (LB) y extracto de levadura-peptona-dextrosa (YDP), el pH se ajustó a 7 utilizando hidróxido de sodio (NaOH). *E. coli* y *Saccharomyces Cereviseae* obtenidos fueron inoculados en el medio de cultivo, utilizando un multímetro digital HP 34401A se hicieron registros cada dos horas, por 25 minutos, 10 muestras por 3 minutos, por cada intervalo se registraron 10 medidas. Finalmente se hicieron varios registros durante 48 horas para cubrir todas las fases del crecimiento bacteriano con *E. coli* y levadura de cerveza.

Preparación de muestras

1. En la preparación, se usan frascos con tamaño de 110ml y un par de placas de aluminio.
2. Se lavan y enjuagan correctamente hasta estar totalmente limpios.
3. Las dos láminas de aluminio se deben cortar del mismo tamaño, que no rebase el límite del frasco y además placas de aluminio no se deben de tocar entre sí.
4. Se ajustan las placas de aluminio al frasco con cinta de aislar para que no se muevan como se muestra en la Figura 6.



Figura 6 Frasco de vidrio con placas de aluminio en los laterales del frasco fijados con cinta de aislar.

5. Se colocan 10 cucharadas de agua y 1 de AGAR en nuestro frasco como se muestra en la Figura 7.



Figura 7 Frasco con agua y agar.

6. Las placas de aluminio se colocan a los electrodos. Los caimanes conectan a las terminales A0 y A2 de las entradas analógicas de la tarjeta Arduino UNO como se muestra en la Figura 8.

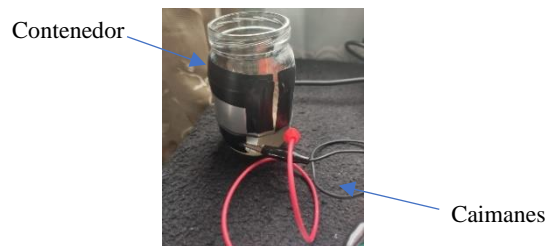


Figura 8 Conexión de caimanes y jumpers.

Una vez preparada la muestra en el frasco se hace la adquisición de datos como se muestra en la Figura 9.

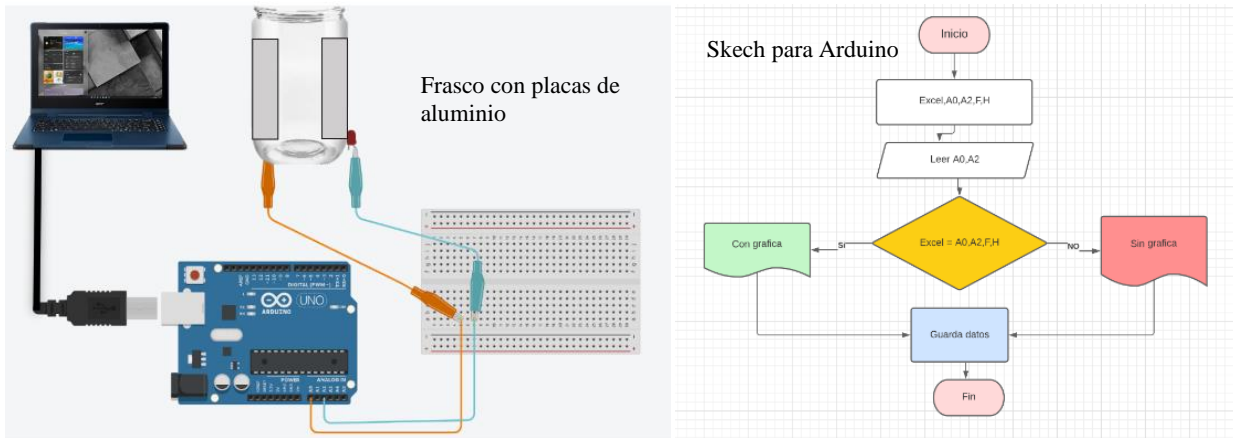


Figura 9 Placas de aluminio conectadas al Arduino UNO y diagrama de flujo para la adquisición de datos.

Una vez que el programa en Arduino compila, se procede a abrir el programa PLX-DAQ en Excel para la adquisición de datos los campos son: fecha, hora y el dato capacitivo como se muestra en la Figura 10.

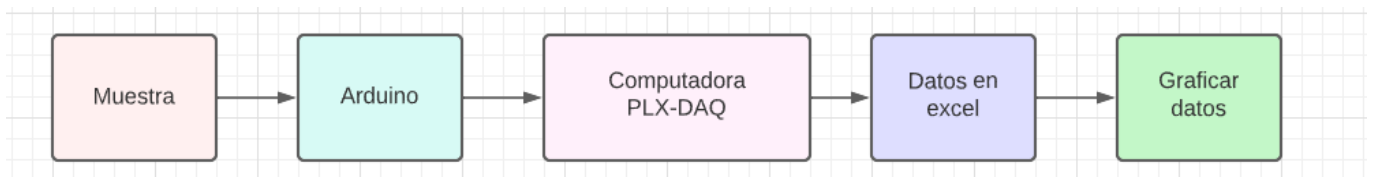


Figura 10. Diagrama de bloques en función de PLX DAQ y Excel.

Resultados y discusión

Etapas 1

En el primer experimento que se realizó el día 16 de junio, se colocó las 10 cucharadas de agua con el AGAR y se monitorio por 2 horas (2:22pm a las 5:23pm) cada 25 minutos 10 muestras con un descanso de 3 minutos.

Después de tener los datos durante las dos horas se pasa a laborar la siguiente una gráfica consecuente, todo el proceso se muestra en la Figura 11.

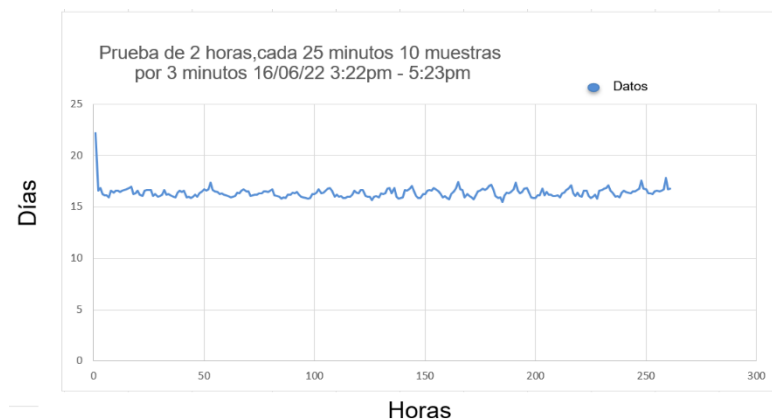


Figura 11 Prueba de 2 horas.

En el primer resultado como se muestra en la gráfica de la Figura 11, al momento de tomar datos del monitoreo, el crecimiento se mantuvo estable durante las dos horas, se desglosa entonces que factores podrían alterar el crecimiento y al mismo tiempo que lo mantenían estable. La manera de mostrar el crecimiento bacteriano es conociendo la de temperatura, humedad y que nutrientes pueden ser factores para desarrollarse.

Etapa 2

Se mantuvo la misma muestra, pero ahora se colocó un sensor de temperatura el cual nos ayudaría a ver que clima nos afectaría para poder visualizar cambios en la muestra, también se agregó un nutriente artificial que fue una cucharada de cátsup como se muestra en la Figura 12.



Figura 12. Segunda etapa con nutriente artificial “cátsup”.

Se adquirieron datos durante 3 días como se muestra el orden en la Figura 13. La variación de horas para registrar los datos fue de hasta 8 horas. Al igual que se realizaron cambios de temperatura exponiendo la prueba al sol y temperatura ambiente. Donde la columna A esa fecha, la columna B es hora, la columna C es Datos y la columna D es temperatura.

Los resultados de ambos días fueron cambios drásticos, pero con cambios significativos, los factores como el cambio de temperatura y también agregar nutrientes ayudaron a la mejora en reproducción de bacterias.



Figura 13 Registro de datos de segunda etapa con toma de temperatura

Etapa 3

Se hicieron varias medidas durante 48 horas para cubrir todas las fases del crecimiento bacteriano, los resultados obtenidos de dos diferentes microorganismos en la Figura 14 se observa un máximo de 8 nF en un tiempo de 27 horas. [9] [10].

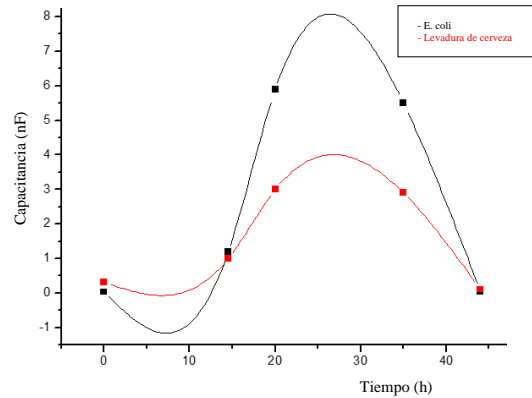


Figura 14 Comportamiento de la señal de capacitancia registrado por el sensor de placas paralelas.

Trabajo a futuro

En base a los resultados obtenidos se puede mencionar que el monitoreo se puede hacer mediante un par de placas de aluminio. Por ello se pretende implementar en un sistema de monitoreo completo como un módulo utilizando una estructura en impresión 3D como soporte para el frasco pequeño de vidrio y la tarjeta Arduino UNO o una tarjeta más pequeña como la Arduino NANO y así conectar el sistema a una computadora para adquirir de manera automática los datos con un software como Matlab para poder hacer una clasificación de datos con algoritmos de inteligencia artificial.

Conclusiones

Las propiedades eléctricas son muy útiles en diversas mediciones diarias en biotecnología. En este caso, la capacitancia eléctrica, se puede usar para medir la concentración celular de un cultivo en Faradios y hacer una correlación de cantidad de bacterias. La solución del medio de cultivo que contiene las células se comporta como un dieléctrico cuya constante es proporcional a la concentración celular, de manera que, se puede determinar la cantidad de células presentes en el medio. La calibración del sensor de tipo capacitivo puede establecerse a partir de concentraciones de células conocidas para capacitancias específicas que sirven de referencia para determinar cantidades desconocidas. Esto gracias a que un sensor de tipo capacitivo de placas externa para medir cualquier elemento entre sus placas, nos da una lectura al cambio capacitivo muy fino de tal manera que podemos medir el crecimiento bacteriano.

Referencia

- [1] MICROBIOLOGIA , «URG.ES,» [En línea]. Available: <https://www.ugr.es/~eianez/Microbiologia/12crecimiento.htm>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [2] K. d. A. Juncal, «StuDocu,» 2019-2020. [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-del-estado-de-hidalgo/microbiologia/bacteria/29989870>. [Último acceso: 20 Agosto 2021].

- [3] NEOGEN CORPORATION, «Documen.site,» 2018. [En línea]. Available: https://documen.site/download/agar-papa-dextrosa-potato-dextrose-agar_pdf. [Último acceso: 21 Agosto 2021].
- [4] MCD LAB Especialistas en medios de cultivo , «mcd.com.mx,» [En línea]. Available: <https://mcdlab.net/controller=attachment>. [Último acceso: Octubre 2021].
- [5] Universidad Nacional Autonoma de Mexico , «Club Ensayos,» 7 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.clubensayos.com/Ciencia/La-capacitancia-es-la-propiedad-de-un-circuito/3856205.html>. [Último acceso: Enero 2022].
- [6] Universidad Tecnologica Nacional , «utn.edu,» [En línea]. Available: [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/basicas/fisica2/files/\(3\)%20CAPACIDAD%20Y%20CAPACITORES.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/basicas/fisica2/files/(3)%20CAPACIDAD%20Y%20CAPACITORES.pdf). [Último acceso: Agosto 2021].
- [7] PARALLAX, «PARALLAX,» 23 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.parallax.com/package/plx-daq/>. [Último acceso: Enero 2022].
- [8] W. B. B. S. W. R.Ehret, «"Monitoring of cellular behaviour by impedance measurements on interdigitated electrode structures",» *ELSEVIER*, vol. 12, nº 29-41, 1997.
- [9] P. B. S. S. Z. T. Reinecke, «"Low-cost Sensor System for Non-invasive Monitoring of Cell Growth in Disposable Bioreactors",» *ELSEVIER*, vol. 120, nº 548-551, p. 551, 2015.
- [10] K. M. W. S. B. T. Zhou, «"The quartz crystal microbalance as a continuous monitoring tool for the study of endothelial cell surface attachment and growth",» de *Biotechnology Progress* , Lowell, Massachusetts, NIH National Library of Medicine , 2000.
- [11] T. Uribarren Berrueta, E. Bazan Mora,L. Castañón Olivares, «Microypara.UNAM,» [En línea]. Available: <https://microypara.facmed.unam.mx/index.php/generalidades-micologia/>. [Último acceso: 20 Agosto 2021].

Sistema embebido para el monitoreo y ajuste de parámetros en un proceso de maquinado electroquímico

José Félix-Segundo Lovera^{1*}, Everardo Efrén-Granda Gutiérrez², Juan Fernando-García Mejía³,
José Arturo-Pérez Martínez⁴, Rigoberto Reyes Morales⁵

Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Atlacomulco^{1,2,3},
jsegundol553@alumno.uaemex.mx¹, eegrandag@uaemex.mx², fgarciam@uaemex.mx³,
Universidad Autónoma del Estado de México, Unidad Académica Profesional Tianguistenco⁴
japerezm@uaemex.mx⁴,
Agencia Espacial Mexicana⁵, reyes.rigoberto@aem.gob.mx⁵.

Área de participación: Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Resumen

En este trabajo se muestra el diseño y resultados de la aplicación de un sistema embebido para el ajuste de los parámetros de un proceso de maquinado electroquímico. El sistema está basado en Raspberry Pi, y permite seleccionar la forma de onda entre sinusoidal, cuadrada y triangular; por otra parte, permite configurar el factor de ganancia de un amplificador para obtener un voltaje de polarización de 3, 5 y 7 Volts. También realiza el monitoreo y registro del voltaje y la corriente durante el maquinado de orificios en materiales metálicos, en escala micrométrica. Mediante este sistema se logró identificar la corriente inicial, y la ventana de corriente al modificar la distancia entre electrodos, que son relevantes para el proceso. Después de realizar el maquinado de orificios, se cuantifica el diámetro y la profundidad alcanzada para identificar la tasa de remoción de material.

Palabras clave: Sistema embebido, Maquinado electroquímico, Medición, Automatización.

Abstract

This work presents the design and results of applying an embedded system to adjust the parameters of an electrochemical machining process. The system is based on Raspberry Pi and allows the selection of the waveform between sinusoidal, square, or triangular; on the other hand, it configures the gain factor of an amplifier to obtain a bias voltage of 3, 5, and 7 Volts. It also performs the monitoring and recording of voltage and current during the machining of holes in metallic materials on a micrometer scale. Through this system, it was possible to identify the initial current and the current window by modifying the distance between electrodes, which are relevant for the process. After the holes are machined, the diameter and depth reached are quantified to identify the material removal rate.

Keywords: Embedded system, Electrochemical machining, Measuring, Automation.

Introducción

En un proceso de maquinado electroquímico (ECM, *Electrochemical Machining*) intervienen los siguientes elementos: la herramienta de trabajo (electrodo que realiza el maquinado), pieza de trabajo (elemento metálico que se somete al proceso), el electrolito y la fuente de polarización. El material de la pieza se remueve por una reacción de disolución anódica debido al proceso de electrolisis que ocurre cuando una corriente eléctrica fluye entre los dos electrodos, que están separados e inmersos en la solución electrolítica [1]. Esta separación se define como distancia entre electrodos o IEG (*Inter Electrode Gap*), variable que permite establecer una relación con el desgaste del material debido a que, si la IEG es considerable, la corriente que fluye entre los electrodos tiende a cero; en caso de que la IEG sea menor y los electrodos se acerquen uno al otro (sin hacer contacto), la corriente incrementa, pero la IEG no puede ser cero debido a que se genera una condición de corto circuito [2] [3]. La cantidad de material que se remueve de la pieza permite establecer la tasa de remoción de material o MRR (*Material Removal Rate*); este parámetro depende del tipo del material, tipo de electrolito y su concentración, los valores de la tensión de la fuente de alimentación y la IEG [4]. El proceso de maquinado electroquímico puede ser complementado con técnicas computacionales, para automatizarlo [5].

En investigaciones sobre Wire-ECM se sugiere el uso de formas de ondas sinusoidal y triangular para evitar frecuencias en el orden de los MHz o tensiones de polarización mayores a 10 V. De acuerdo con los resultados, la forma de onda sinusoidal presenta mayor eficiencia en sobre corte frente a la forma de onda cuadrada, y la forma de onda triangular presenta menor sobre corte frente a las formas de onda cuadrada y sinusoidal [1] [6].

En ECM no es posible una medición directa del IEG y, para mantenerlo constante, se recurre a su estimación mediante la medición de variables eléctricas, principalmente la corriente [7], que es un factor clave pues permite medir indirectamente la IEG y mantenerla en 240 μm ; en consecuencia, se tiene una MRR constante. Además, se teoriza que, si la MRR es constante, es posible estimar el tiempo para producir barrenos con una profundidad específica, ajustando la IEG [4] [8]. En algunos trabajos se ha realizado el monitoreo de la corriente solamente de señales cuadradas mediante sensores de corriente de efecto Hall y convertidores analógico a digital [4,7,8].

En un trabajo previo [9], se propuso una fuente de polarización para una celda electrolítica y el análisis de los efectos de la polarización con distintas formas de onda. Se concluye que la magnitud de la corriente, ordenada de menor a mayor, es para una forma de triangular, sinusoidal y cuadrada, respectivamente. Debido a que el ajuste de los parámetros de la fuente como la forma de onda, ajuste de la ganancia de amplificación y el monitoreo de la corriente, se realizó manualmente, se estableció realizarse de forma automática como trabajo a futuro.

Los sistemas embebidos son dispositivos digitales de bajo costo desarrollados para realizar funciones específicas; por lo general, la mayoría de sus componentes están incluidos en una placa base [10]. En ellos, se codifican algoritmos para tareas como el ajuste de parámetros del sistema o medir variables de interés, así como la revisión y validación de datos [11]. Debido al avance tecnológico en circuitos integrados, se fabrican nuevos dispositivos, de menor tamaño y con mayores capacidades de cómputo; un ejemplo es la computadora Raspberry Pi, de una sola placa o placa reducida (*Single Board Computer*, SBC). Esta tiene la capacidad de ejecutar un sistema operativo y aplicaciones creadas en lenguajes como Python o C, además de implementar puertos de propósito general (*General Purpose Input/Output*, GPIO) para conectarse con otros dispositivos [12].

En el presente trabajo, se propone el uso de un sistema embebido para la automatización de los procesos requeridos en el ECM: seleccionar la forma de onda para la polarización de los electrodos entre sinusoidal, cuadrada y triangular, mediante un multiplexor de señales analógicas; establecer la ganancia de un amplificador a través de un potenciómetro digital; ajustar la IEG mediante un sistema de desplazamiento por motores a pasos; y monitorear las variables eléctricas (corriente de maquinado y voltaje pico de la señal). Los procesos anteriores son controlados mediante una Raspberry Pi y algoritmos en el lenguaje de programación Python.

Metodología

Desarrollo

El prototipo del circuito electrónico del sistema se desarrolló por etapas modulares. En la Figura 1 se aprecia el circuito electrónico constituido por tres generadores de funciones KEYSIGHT 33210A, uno para cada tipo de señal (sinusoidal, triangular y cuadrada). Un multiplexor analógico CD4052BC permite el paso de un tipo de señal a partir de sus pines de selección y habilitación controlados por los terminales GPIO 10, GPIO 9 y GPIO 11, de la Raspberry Pi. La señal seleccionada se rectifica a media onda negativa con un rectificador de precisión construido con dos resistencias (R1 y R2), un amplificador operacional TL082, y dos diodos 1N4148 (D1 y D2). Luego la señal pasa por un amplificador inversor formado por un TL082, las resistencias R3 y RB, y un potenciómetro digital X9C103S, controlado por los terminales GPIO 17, GPIO 27 y GPIO 22.

Puesto que se han reportado corrientes de hasta 100 mA durante un proceso de maquinado [8], y debido a que los TL082 de las etapas de rectificación y amplificación tienen una corriente de salida de 40 mA, la señal pasa por un amplificador aislado KEYSIGHT 33502A, con una corriente de salida de hasta 200 mA. Además, permite separar las referencias (tierras) de la etapa de potencia y de señal. La pieza de trabajo se conecta al polo positivo mientras que la herramienta de trabajo se conecta a tierra, y la resistencia de muestreo RM se conecta en serie a la celda electrolítica para el monitoreo de la corriente.

En el monitoreo de las variables eléctricas (voltaje y corriente) se realiza con el circuito integrado AD536, que es un conversor de voltaje RMS (*root mean square*) a CD (corriente directa). La magnitud obtenida se lee mediante un convertidor analógico a digital (*Analog to Digital Converter*, ADC) ADS1115, que tiene una resolución de 16 Bits, una velocidad de 860 muestras por segundo, y se comunica bajo el protocolo I2C con la Raspberry Pi.

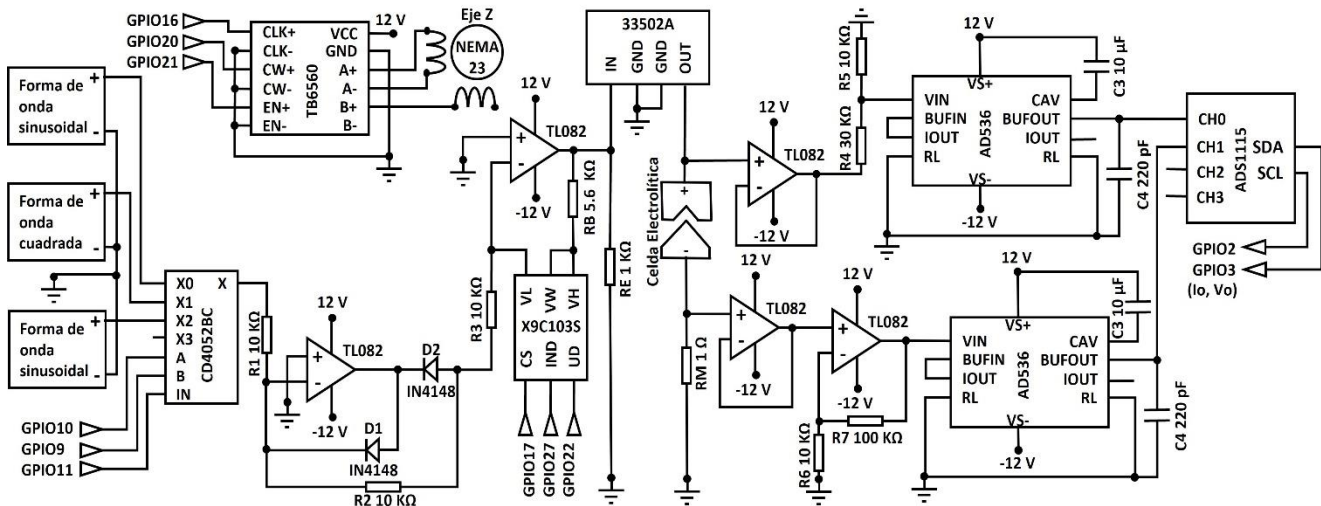


Figura 1. Circuito electrónico del sistema computacional para el monitoreo y ajuste de las variables eléctricas.

El monitoreo del voltaje en la celda electrolítica se realiza con un seguidor de voltaje con un TL082 y un divisor de tensión (R4 y R5). Su salida pasa al AD536 y el valor en DC que produce se filtra en C2 e ingresa al canal 0 del ADS1115. La medición de la corriente de maquinado se realiza con la resistencia RM (en serie con la celda electrolítica), donde un seguidor de voltaje formado con un TL082 se conecta a RM y la señal va a un amplificador no inversor construido con un TL082 y las resistencias R6 y R7; su salida va al AD536 y luego al filtro C4 en el canal 1 del ADS1115. Los valores de voltaje y corriente muestreados por el ADS1115 son enviados a la Raspberry Pi mediante el protocolo I2C cuya la línea de datos (SDA) es conectada al GPIO3 y la línea de reloj al GPIO2.

Se utiliza un motor a pasos NEMA 23 acoplado a un husillo para desplazar linealmente la herramienta de trabajo con una resolución de 40 µm por paso. Además, se logran resoluciones de 2.5 µm con una configuración de 1/16 de paso con el controlador TB6560, cuya terminal CLK+ (GPIO16) configura la velocidad y la dirección con el terminal CW+ (GPIO20); el terminal EN+ (GPIO 21) habilita el TB6560.

Se escribió una función para seleccionar la forma de onda a través del CD4052BC. En la Figura 2 (a), se muestra el pseudocódigo de esta función, que recibe la variable *Forma*, es decir la forma de onda deseada; si es igual a alguna de las tres formas de onda disponibles se le asignan los valores correspondientes a *vA* y *vB*, y se actualizan las terminales del puerto GPIO que corresponden con los terminales de selección del CD4052BC.

La señal de los generadores de funciones, con amplitud de 2 V pico a pico, pasa por la etapa de selección y rectificación, por lo que la señal tiene una amplitud de -1 V. En la etapa de amplificación, es atenuada o amplificada para obtener el valor deseado de 0.6, 1 y 1.4 V. Para esto se emplea la ecuación (1) para un amplificador inversor, considerando una resistencia *RB* de 5.6 kΩ en serie con una resistencia variable *RV* (0 a 10 kΩ), y una resistencia fija *R3* de 10 kΩ.

$$V_o = -\left(\frac{RB+RV}{R3}\right) (-1) \quad (1)$$

Los valores de *RV* resultantes son 400 Ω (0.6 V), 4400 Ω (1 V) y 8400 Ω (1.4 V), y se empleó un potenciómetro digital X9C103S de 10 kΩ; este dispositivo puede incrementar o disminuir su valor resistivo en 100 pasos de 100 Ω mediante sus terminales: CS en estado lógico bajo habilita el potenciómetro digital, UD en estado lógico alto incrementa el valor y UD en estado lógico bajo decrementa el valor y NC recibe el pulso de control del potenciómetro (pulso de cambio de la resistividad). Los tres terminales son controlados por la Raspberry Pi.

En la Figura 2 (b), se presenta el pseudocódigo para establecer la amplitud de la señal con el potenciómetro digital. La función recibe como parámetro el voltaje deseado *Voltaje*; si es igual a 3 V entonces *t* toma el valor de 400, si es igual a 5, *t* toma el valor de 4400; si *Voltaje* es igual a 7 *t* toma el valor de 8400. Enseguida, se habilita el potenciómetro y se establece que el valor de la resistencia incrementa y mediante un ciclo desde cero hasta *t* con incrementos de 100 se genera un pulso, es decir el cambio de la resistencia con incrementos de 100 Ω.

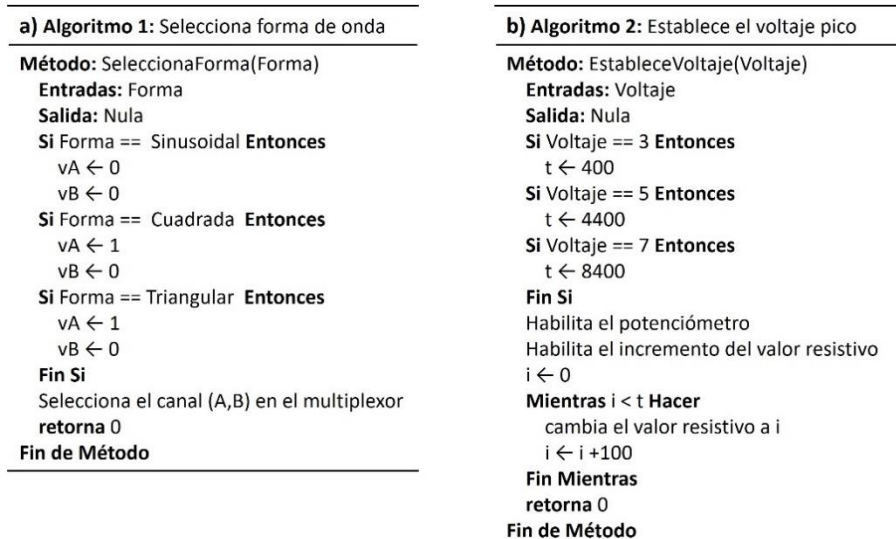


Figura 2: Pseudocódigo para: a) Seleccionar la forma de onda y b) Establecer voltaje pico.

La función para la lectura de voltaje y corriente, en la Figura 3 (a), emplea dos arreglos para almacenar las cinco últimas lecturas de cada variable obtenidas con el ADS1115; en el arreglo *LecturasV* se almacena el voltaje y en el arreglo *LecturasC*, la corriente. Posteriormente se calcula el promedio de cada variable y se realiza la conversión del promedio redondeado a 5 decimales, retornando el valor del voltaje y la corriente.

Para modificar la IEG, moviendo la herramienta de trabajo, en la función de la Figura 3 (b) se recibe como parámetro la *Distancia* que se desplaza en el eje Z; si es mayor a cero, la IEG incrementará, subiendo la herramienta; si es menor a cero, la IEG disminuirá al bajar la herramienta. Después de establecer la dirección de movimiento se calculan los pulsos necesarios al dividir la *Distancia* entre la resolución de 2.5 $\mu\text{m}/\text{pulso}$; entonces se emplea un ciclo, y en cada iteración se genera un pulso que ocasiona un desplazamiento de 2.5 μm .

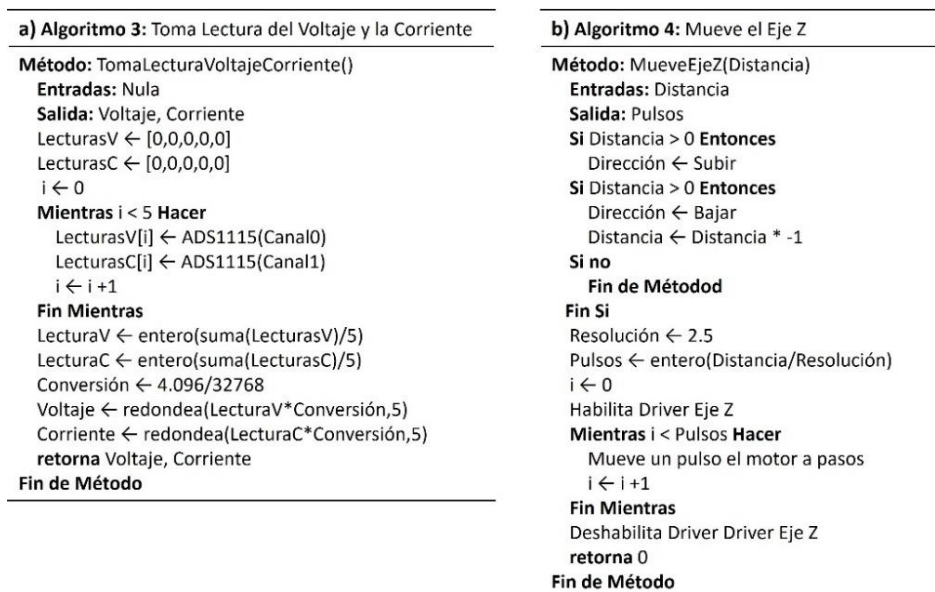


Figura 3: Pseudocódigo para: a) Toma de lectura de voltaje y corriente, b) Mueve el eje Z.

Identificación de la ventana de corriente y cálculo de la tasa de remoción de material

La IEG incrementa conforme se remueve material de la pieza, ocasionando que la corriente disminuya. En la Figura 4 (a) se aprecia la IEG inicial de 240 μm , pero en la Figura 4 (b) se representa como la IEG es igual a la IEG inicial de 240 μm más la profundidad P debido a que se removió material. En la figura 4 (c) la IEG ha incrementado aún más por el efecto del desgaste de la pieza. Se requiere mantener una IEG constante de 240

μm para que la MRR sea constante, pero no es posible medir la IEG, por lo que se mide de manera indirecta con la corriente, y se ajusta mediante las funciones *TomaLecturaVoltajeCorriente* y *MueveEjeZ* (Figura 4).

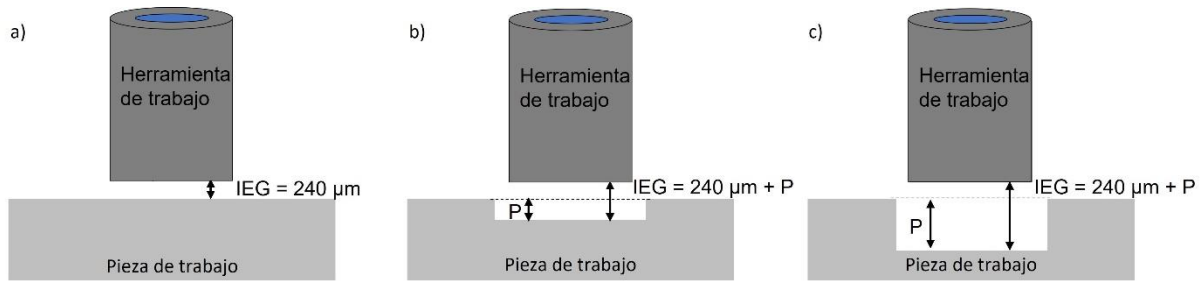


Figura 4: Incremento de la IEG durante el maquinado.

Se requirió identificar la corriente inicial cuando la IEG es $240 \mu\text{m}$, así como la corriente al incrementar la IEG en $2.5 \mu\text{m}$ y, además, desde una IEG inicial de $240 \mu\text{m}$, al disminuir la IEG en $2.5 \mu\text{m}$. Entonces, se obtiene la corriente inicial (I_o), corriente baja (I_L) y corriente alta (I_H) con el fin de medir el umbral de cambio de corriente, o ventana de corriente (Δ_i) con la ecuación 2. En la Figura 5 se exhibe el diagrama de flujo de la identificación de la ventana de corriente y el registro del monitoreo de la corriente durante un maquinado de 60 segundos.

$$\Delta_i = \left| \frac{(I_o - I_L)(I_H - I_o)}{2} \right| \quad (2)$$

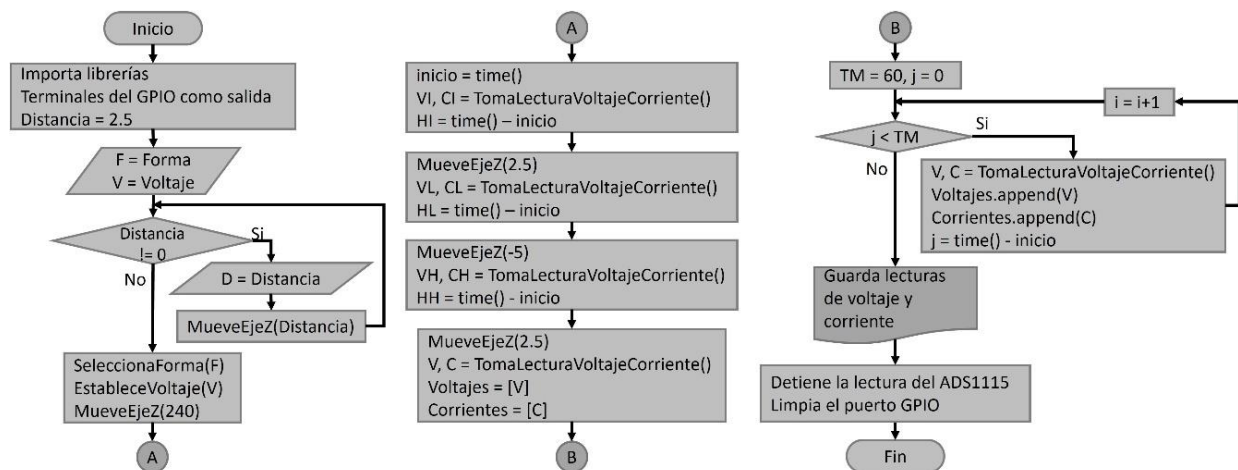


Figura 5: Diagrama de flujo para la identificación de la ventana de corriente y maquinado por 60 segundos.

Resultados y discusión

Identificación de la corriente inicial y ventana de corriente

Para el maquinado se emplearon formas de onda sinusoidal, cuadrada y triangular; con amplitudes de 3, 5 y 7 V; con ello, se maquinaron nueve orificios correspondientes a cada combinación y posteriormente se maquinaron dos repeticiones para evaluar la dispersión de los datos con respecto a su promedio. Se utilizó un electrolito de NaCl y agua destilada en una solución de 3.2 Molar; la pieza de trabajo es de acero AISI 1018 mientras que la herramienta, con forma cilíndrica hueca, es de acero inoxidable con diámetro externo $600 \mu\text{m}$ y $380 \mu\text{m}$ de diámetro interno. La frecuencia de trabajo se mantuvo en 1 kHz y el tiempo de maquinado fue de 60 s.

Una vez realizado el maquinado de orificios se recabaron las lecturas de la corriente inicial (I_o) con una IEG de $240 \mu\text{m}$, corriente baja (I_L) al pasar a una IEG de $242.5 \mu\text{m}$ y corriente alta (I_H) al pasar a una IEG de $237.5 \mu\text{m}$. En la Tabla 1, se recopilan las lecturas de la corriente en los tres casos, así como el cálculo de la ventana de corriente (Δ_i); la ventana de corriente es el promedio de la ventana baja con la ventana alta.

Tabla 1: Identificación de la ventana de corriente para cada forma de onda y voltaje de polarización.

Forma	Voltaje (V)	I_o (mA)	I_H (mA)	I_L (mA)	Δ_i (mA)
Sinusoidal	3	7.167	7.067	7.333	0.133
Cuadrada	3	10.100	9.900	10.200	0.150
Triangular	3	5.867	5.833	5.867	0.017
Sinusoidal	5	10.067	9.900	10.133	0.116
Cuadrada	5	14.433	14.100	14.500	0.200
Triangular	5	7.200	7.100	7.267	0.083
Sinusoidal	7	15.700	15.600	16.167	0.283
Cuadrada	7	21.267	20.567	21.433	0.433
Triangular	7	11.100	11.000	11.267	0.133

Mediciones de los barrenos resultantes y estimación de la tasa de remoción de material

Para estimar la MRR se mide la profundidad y el diámetro del orificio maquinado. En la Figura 6 se observa la dispersión de los datos con respecto a la media para estas dimensiones. La profundidad incrementa con el voltaje debido a que la corriente también aumenta, mientras que el diámetro se mantiene en el mismo orden. La menor profundidad corresponde a la forma de onda triangular; seguida de la lograda con la forma de onda sinusoidal y la mayor profundidad alcanzada se realizó con la forma de onda cuadrada.

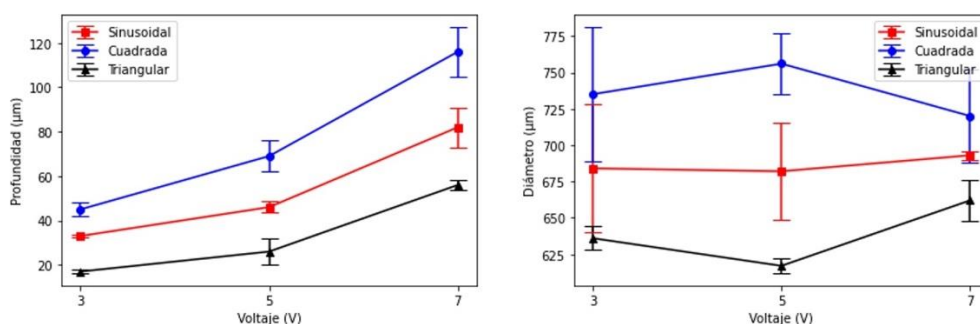


Figura 6: Dispersión de los datos con respecto a la media, a) profundidad, b) diámetro.

La profundidad y diámetro resultante se emplearon para calcular el volumen del material removido. La forma de la herramienta de trabajo es un cilindro, por lo tanto, el orificio resultante es un cilindro, de manera ideal. Para calcular el volumen removido se considera el área de un círculo y se multiplica por la profundidad alcanzada para obtener el volumen que se removió, y el volumen removido es dividido entre el tiempo de maquinado (60 s) para obtener una aproximación de la MRR, los datos obtenidos se muestran en la Tabla 2. Como se puede observar en la Figura 6 y en los datos de la Tabla 2, se remueve más material con una polarización de 7 V y con una forma de onda cuadrada debido a la corriente que circula entre los electrodos durante el maquinado.

Tabla 2: Volumen removido y cálculo de la MRR

Tiempo (s)	Forma	Voltaje (V)	Volumen Removido (μm^3)	MRR ($\mu\text{m}^3/\text{s}$)
60	Sinusoidal	3	12.546	0.209
60	Cuadrada	3	19.274	0.321
60	Triangular	3	5.487	0.091
60	Sinusoidal	5	16.997	0.283
60	Cuadrada	5	31.153	0.519
60	Triangular	5	7.869	0.131
60	Sinusoidal	7	31.348	0.522
60	Cuadrada	7	48.151	0.803
60	Triangular	7	19.411	0.324

En la Figura 7 se visualiza el comportamiento de la corriente. En el inciso a), con 3 V, la corriente de maquinado va de 6 a 11 mA, pero se observa que no existe cambio de corriente en la forma de onda triangular, mientras que para la forma de onda sinusoidal solo existe un cambio de corriente y para la señal cuadrada tiene 5 cambios en el valor de la corriente; esto se relaciona con el material removido, la señal triangular alcanzó la menor profundidad por lo tanto en la corriente no existe cambio, la señal cuadrada alcanzó la mayor profundidad y por lo tanto el cambio de corriente es más evidente que para la forma de onda triangular. La relación de cambios en la corriente de maquinado es similar en las polarizaciones de 5 y 7 V, retomando lo observado en la Figura 6, cuanto mayor es la I_0 mayor es la profundidad del orificio maquinado y mientras menor cambio en la corriente significa que la IEG se mantiene más cerca de los 240 μm iniciales y por lo tanto la profundidad obtenida es menor.

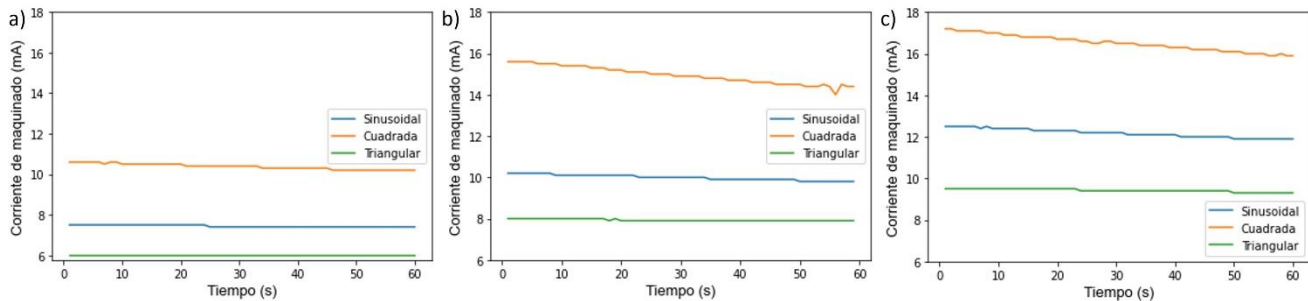


Figura 7: Comportamiento de la corriente en maquinados a 60 segundos y polarización: a) 3 V, b) 5 V y c) 7 V.

Una muestra de los maquinados resultantes se aprecia en la Figura 8 para perforaciones realizadas con 5 V; se identifican las mediciones del diámetro realizadas con un microscopio óptico digital. La perforación con una forma de onda triangular tiene un diámetro entre 615 y 634 μm ; a su vez el orificio maquinado con una forma de onda sinusoidal tiene un diámetro entre 652 y 682 μm ; y el diámetro resultante con la forma de onda cuadrada fue de entre 632 y 716 μm . La profundidad alcanzada, es perceptible mediante los pixeles oscuros dentro del orificio.

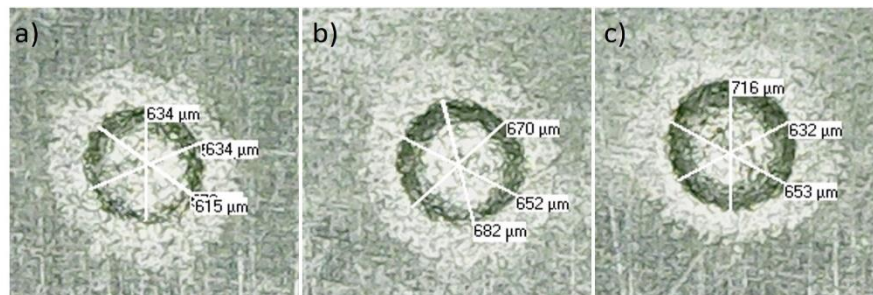


Figura 8: Vista de los maquinados a 5 V y forma de onda: a) triangular, b) sinusoidal y c) cuadrada.

Trabajo a futuro

Durante el maquinado de orificios usando el sistema embebido desarrollado se identificó la necesidad de diseñar un módulo para establecer de forma automática la IEG, a partir de la detección de continuidad entre los electrodos. Por otro lado, se pretende desarrollar un algoritmo difuso para manipular los parámetros de selección de la forma de onda, voltaje de polarización e IEG. Además, se propone el desarrollo de un algoritmo genético que permita optimizar el controlador difuso y potencialmente prescindir de la experiencia del investigador.

Conclusiones

Un sistema embebido, utilizado como herramienta para el monitoreo y ajuste de los parámetros de un proceso de maquinado electroquímico, cumplió de forma satisfactoria su función. Permite establecer la IEG al mover el eje Z del sistema mecánico con una resolución de 2.5 μm por pulso. El sistema permite seleccionar la forma de onda entre sinusoidal, cuadrada y triangular. El voltaje de polarización de la forma de onda se puede configurar mediante un potenciómetro digital que establece el factor de ganancia de un amplificador operacional. Finalmente, se identificó la corriente inicial y la ventana de corriente al disminuir e incrementar en 2.5 μm la IEG inicial de 240 μm ; además se realizó el monitoreo y registro del comportamiento de la corriente con el circuito que mide el voltaje

en la resistencia de muestreo y el convertor de voltaje RMS a DC y su interacción con el convertidor analógico a digital. Las pruebas de maquinado demuestran que la menor remoción de material es realizada con una forma de onda triangular, la remoción de material de la señal sinusoidal es mayor a la triangular y menor a la cuadrada; la remoción de material de la señal cuadrada es la mayor de todas debido a que favorece una mayor corriente de maquinado. Al incrementar el voltaje de polarización se incrementa la corriente, pero la relación de corrientes para las tres formas de onda se mantiene en el mismo orden de menor a mayor, triangular, sinusoidal y cuadrada.

Agradecimientos

A CONACYT por el apoyo económico mediante el programa de becas nacionales para estudios de posgrado.

Referencias

- [1] S. Vyom, S. P. Divyansh, A. Vishal, V. K. Jain y J. Ramkumar, «Reducing overcut in electrochemical micromachining process by altering the energy of voltage pulse using sinusoidal and triangular waveform,» *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, n° 103526, p. 151, 2020.
- [2] L. Xu, J. Ning y C. Zhao, «Electrochemical micromachining based on time constant control,» *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 145, 2020.
- [3] C. Zhao y L. Xu, «Limiting current density in electrochemical micromachining,» *Journal of Electrochemical Science and Engineering*, vol. 8, n° 4, pp. 321-330, 2018.
- [4] I. Gallegos Miranda, Sistema Computacional para la remoción controlada de material en un proceso de Maquinado Electroquímico Pulsado, Atlacomulco, México: Universidad Autónoma del Estado de México, Tesis de maestría en Ciencias de la Computación, Centro Universitario UAEM Atlacomulco, 2019.
- [5] I. U. Nopalera Angeles, E. E. Granda Gutiérrez, J. F. García Mejía, J. A. Pérez Martínez y A. A. Flores Fuentes, «Control difuso para la regulación de flujo de electrolito en un proceso no convencional de Micro-Manufactura,» *Journal CIM*, vol. 8, n° 1, pp. 1086-1093, 2020.
- [6] S. Vyom, S. P. Divyansh, A. Vishal, V. K. Jain y J. Ramkumar, «Investigations into machining accuracy and quality in wire electrochemical micromachining under sinusoidal and triangular voltage pulse condition,» *Journal of Manufacturing Processes*, n° 62, 2021.
- [7] O. Catarino Aguilar, Sistema asistido por computadora para la remoción controlada de material en un proceso de maquinado electroquímico, Atlacomulco, México: Universidad Autónoma del Estado de México, Tesis de maestría en Ciencias de la Computación, Centro Universitario UAEM Atlacomulco, 2017.
- [8] I. U. Nopalera Angeles, «Algoritmo de control difuso para el ajuste de polarización de un proceso de maquinado electroquímico pulsado,» Universidad Autónoma del Estado de México, Tesis de maestría en Ciencias de la Computación, Centro Universitario UAEM Atlacomulco, Atlacomulco, México, 2021.
- [9] J. F. Segundo Lovera, E. E. Granda Gutiérrez, J. F. García Mejía y J. A. Pérez Martínez, «Polarización con distintas formas de onda para la reducción del sobre corte en un proceso de maquinado electroquímico,» *Revista Aristas: Investigación Básica y Aplicada*, vol. 8, n° 17, pp. 308-314, 2022.
- [10] J. S. Valdez Martínez, J. Y. Rumbo Morales, K. Santiago Santiago, H. R. Azcaray Rivera y A. M. Beltrán Escobar, «Sistema teleoperado de relajación podal basado en sistemas embebidos de bajo costo,» *Revista internacional de investigación e innovación tecnológica*, vol. 6, n° 36, 2019.
- [11] A. J. Soto Vergel, J. E. Herrera Rubio y D. O. Cardozo Sarmiento, «Medición de parámetros en líneas de transmisión con sistemas embebidos,» *Tecnura*, vol. 26, n° 73, 2022.
- [12] J. Fuentes, S. Castro, B. Medina, F. Moreno y S. Sepulveda, «Experimentación de controladores digitales clásicos en un sistema embebido aplicado en un proceso térmico,» *UIS Ingenierías*, vol. 17, n° 1, 2018.

Estudio y análisis de sistema domótico para personas con discapacidad motriz en el Estado de México

Mayte Joseline Sandoval Perez^{1*}, Carlos Omar González-Morán¹
Laboratorio de Materiales y Procesos Inteligentes, Centro Universitario UAEM Valle de México.
Boulevard Universitario s/n Predio San Javier, C.P.54500,
Atizapán de Zaragoza, Estado de México, México

Área de participación: Ingeniería eléctrica y electrónica.

Resumen

En este artículo se muestra una revisión bibliográfica de lo que es un entorno domótico, las grandes posibilidades de automatizar y personalizar los sistemas de iluminación encendido y apagado con sensores capaces de reconocer la presencia de una persona, así como controlar la temperatura, abrir o cerrar las cortinas de manera automática o simplemente realizar llamadas por medio de comando de voz e interruptores; todas estas funciones domóticas favorecen la vida cotidiana haciéndola más flexible y cómoda, permitiendo a personas con discapacidades motrices superar sus limitantes por problemas físicos y así generar su autonomía e independencia.

Palabras Clave: Discapacidad, automatización, tecnología, México.

Abstract

The purpose of this article is to inform about what a home automation environment is, the great possibilities of automating and personalizing lighting systems on and off with sensors capable of recognizing the presence of a person as well as controlling the temperature, opening or closing the curtains. automatically or simply make calls by voice command and switches; All these home automation functions favor daily life by making it more flexible and comfortable, allowing people from the State of Mexico with motor disabilities to overcome their limitations due to physical problems and thus generate their autonomy and independence.

Keywords: Disability, automation, technology, Mexico.

Introducción

La domótica es el conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de un inmueble, que permite una gestión eficiente del uso de la energía, que aporta seguridad y confort, además de comunicación entre el usuario y el sistema [1].

Este artículo está enfocado en documentar los inicios y acciones que se pueden llevar a cabo con la domótica; ya que es una tecnología avanzada y en nuestros tiempos es cada vez más necesario el uso de este tipo de tecnologías, no solo en actividades de operación de trabajo y/o formativo, sino en acciones cotidianas; la domótica ha traído como consecuencia usar la tecnología para innovar y efectuar las labores que se nos presentan cotidianamente, ya que existen diferentes tipos de necesidades en cada persona, empresa o entorno.

Esta tecnología generaliza a todo grupo de servicios que se suministran en un inmueble de tal manera que el enlace de los sistemas de una red se implemente tanto en su interior como en el exterior, para poder asegurar un buen control y gestión de operación dentro de su aplicación.

La discapacidad es un fenómeno complejo que refleja una interacción entre las características del organismo humano y las características de la sociedad en la que vive. La conexión que tiene la domótica con la discapacidad es gracias a su accesibilidad, ya que la domótica brinda sistemas de control del entorno y permite desarrollar actividades sin ayuda de terceras personas. Lo que hace la domótica es de gran ayuda pues se trata de una revolución en la obtención de autonomía para estas personas, ya que satisface sus necesidades y les ayuda en el desarrollo de sus tareas día a día.

Antecedentes e historia de la domótica

Los inicios de la tecnología datan de hace 2,000,000 años cuando nuestros antepasados fabricaron las primeras herramientas, pero con el paso de los años el análisis y los avances en la ciencia y la tecnología dieron a conocer las tecnologías de la información y la comunicación (TIC's) entre otros avances tecnológicos [2].

Los primeros pasos a la domótica se dieron a menos de una década después de que el inventor e ingeniero eléctrico y mecánico Nikola Tesla comenzara los principales intentos de lo que se consideraría uno de los inicios de la domótica, con el invento del primer mando a distancia, con el fin de controlar un barco de juguete.

En 1930, los descubridores ya habían puesto toda su atención hacia las ventajas que traería la domótica. Pese a que la tecnología aún estaba muy lejos; fue así cuando la feria mundial incluyó el concepto de electrodomésticos automatizados y electrodomésticos inteligentes. Como era de esperarse los espectadores quedaron asombrados y encantados con la idea de ver el avance del refrigerador y demás electrodomésticos.

La revolución industrial hizo posible el invento de los aparatos electrodomésticos dando señal a los primeros indicios de historia de las casas inteligentes, es claro que como tal no eran del todo inteligentes, pero transformaron así radicalmente la vida de la gente, pero esto fue posible al menos personas adineradas, ya que contaban con la solvencia económica para poder adquirir algunos de estos aparatos. Investigaciones resaltan que el primer producto en domótica fue en 1966 creado por Jim Sutherland, el "Electronic Computing home Operator" (ECHO), un aparato capaz de almacenar, enviar mensajes, controlar la temperatura de la casa, entre otras características.

La llegada del microprocesador en el año 1971, detonó la tecnología finalmente; en tanto que el precio de la electrónica cayó ligeramente, llevando la conveniencia de los electrodomésticos a las casas.

Fue en 1984 cuando la palabra "hogar inteligente" era sin duda una fantasía para la asociación americana de constructores de casas, pero en ese momento era solo un sueño muy lejano, pues todavía no se contaban con las tecnologías emergentes.

En 1996 se llevó a cabo el invento del claxon, el cual era un interruptor eléctrico que funcionaba por medio del sonido, aunque presentaba una desventaja pues podía activarse accidentalmente con el ladrido de un perro, al toser o dar un chasquido. Sin embargo este momento fue el primer avance real de la tecnología domótica inteligente y fue uno de los descubrimientos más emblemáticos del siglo XX.

En la actualidad la domótica ya está cada vez más presente, pues brinda soluciones enfocadas en la automatización de todo tipo de cuestiones dentro de un inmueble; inclusive ofrece más funciones a menor costo y mucha más variedad de productos, también con la evolución constante de la tecnología son más fáciles de usar y de emplearse ya que los instaladores de domótica han ampliado su nivel de formación y la operabilidad se ha perfeccionado; hablar de los inmuebles inteligentes se ha convertido en un tema muy interesante para todo el mundo, pues a lo largo de los últimos años nacieron tecnologías inteligentes, con aparatos y dispositivos cada vez más comunes y accesibles.

Metodología

El presente trabajo es una revisión bibliográfica de algunos de los hitos más importantes de la domótica, en particular se estudian los eventos relevantes ocurridos en el Estado de México y más específicamente en el Centro Universitario del Estado de México.

La metodología empleada para la presente revisión se ilustra en la Figura 1, en la cual se detallan las etapas de las cuales consta esta investigación documental. Es importante resaltar que, dado el carácter del tema de investigación la información se sustentó de tesis obtenidas de buscadores educativos además de páginas web sobre proyectos, artículos, revistas y libros.



Figura 1 Esquema general de proceso de investigación documental

Para un hogar inteligente se deben emplear dispositivos que sean los encargados de controlar distintos puntos del hogar, estos dispositivos son llamados, microcontroladores. Junto con los controladores se han desarrollado placas PCB (placa de circuito impreso) que en estos tiempos es conocido como plataformas de hardware libre; entre las placas con microcontroladores existe Arduino que es una placa de fácil aplicación para controlar sensores y actuadores, este es de código abierto (Open Source) basada en hardware y software flexibles y que permite establecer conexión entre los microcontroladores, sensores y actuadores. Además de la comunicación por medio de Ethernet, Wifi, Bluetooth, etc.

El NodeMcu ESP8266; kit de desarrollo de código abierto basado en popular chip ESP8266(ESP-12E), lenguaje de programación para crear un ambiente propicio en aplicaciones que requieran conectividad Wifi. Permitiendo que la aplicación pueda servir como puente entre el internet y el microcontrolador [3].

Desarrollo

La tecnología domótica es una herramienta con la que logramos controlar sistemas y dispositivos dando automatización con el único fin de mejorar la calidad de vida y bienestar del hogar lo cual se ilustra en la Figura 2. Un inmueble desarrollacierto inteligencia debido a la tecnología que pueda tener y por la forma en la que estás tecnologías satisfacen las necesidades de este y de los usuarios en constante cambio.

En definitiva, la domótica de estos tiempos hace más versátil la distribución del inmueble, cambia las condiciones ambientales creando diferentes escenarios predefinidos, logrando que sea más funcional al permitir desarrollar aspectos domésticos, profesionales y entretenimiento.



Figura 2 Domótica en términos generales [4].

Misión de los sistemas domóticos

Emplean la gestión de 4 aspectos fundamentales en el sistema como se determina en la guía técnica del manejo de instalaciones en el sistema de automatización (Figura 3) y son los siguientes:

- Nivel de confort.
- Comunicaciones.
- Protección patrimonial.
- Ahorro energético.

Nivel de confort

Nos permite automatizar servicios y tareas comunes como el alumbrado del hogar, aire acondicionado, control del refrigerador, abrir y cerrar puertas y ventanas, entre otras. Esto se lleva a cabo por medio de pulsadores o escenas programadas previamente para poder ser activados en un momento determinado que se define previamente por un usuario.

Comunicaciones

Se pretende conectar la red doméstica a la red domótica dentro del hogar para poder dominar los dispositivos inteligentes. Esto consigue permitir un diagnóstico desde el exterior e interior y así lograr controlar los sistemas a distancia.

Protección patrimonial

A fin de la seguridad del inmueble existen sistemas que nos brindan alarmas para la vigilancia de extraños; ya sean cámaras de video, alertas técnicas (agua, gas, humo, fallo en la línea telefónica y suministro eléctrico, etc.).

Ahorro energético

La domótica también se encomienda a la administración de consumos, tales como, el de energía eléctrica por medio el uso de temporizadores, relojes programados previamente y termostatos, esto con el motivo de eliminar usos innecesarios de energía eléctrica, refrigeración, calefacción, etc.

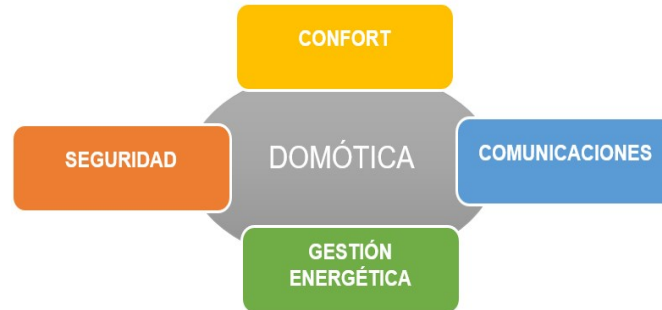


Figura 3 Aspectos de domótica [5].

Domótica y discapacidad

La domótica proporciona a una persona con discapacidad motriz el poder de encender y apagar aparatos electrónicos mediante la voz, mandos a distancia, a través de Internet o pantallas táctiles; inclusive, permite emplear llamadas de emergencia o activar servicios de alarma, si es que lo necesitan. En casos más dificultosos como la movilidad reducida severa logramos detectar que con ayuda de mecanismos habilitados es posible levantarse de la cama, desplegarse hacia la ducha, mandos para abrir y cerrar puertas, entre algunas otras acciones.

Por otro lado, las personas con problemas degenerativos a las que su capacidad va a ir en disminuyendo progresivamente, la domótica proporciona la oportunidad de ir disponiendo opciones de forma modular, adaptando lo que vaya perdiendo su movilidad. De esta manera, los sistemas se ajustan a las necesidades que el usuario va presentando y, su vida logrará seguir de forma autónoma. Gracias a la domótica, miles de personas que alojan en la soledad, y sujetan dificultades de movilidad, logran tener gran comunicación con su entorno.

Accesibilidad en Domótica

Al emplear la tecnología domótica en las viviendas y lugares de trabajo como en los edificios, lo que se está generando es la dotación a estos lugares de accesibilidad para que todo tipo de personas puedan acceder a ellos sin ningún problema. Se pretende que los lugares se adapten a las personas sin importar cuales sean sus necesidades, discapacidades o limitaciones ofreciéndoles mayor confort. Algunas de las ventajas que presenta la domótica van desde las tareas más básicas hasta las dificultosas que son necesarias y que facilitan la vida diaria, así como también el relacionarse con el exterior, permitiendo una profunda complacencia para los usuarios.

Los sistemas domóticos están caracterizados por su usabilidad, flexibilidad y utilidad para que las personas puedan utilizarlos dependiendo de su necesidad o gusto. De igual modo, un sistema domótico debe estar diseñado para ser utilizado ya sea por una o varias personas, y así crear una o varias conexiones para cada perfil de usuario.

Cuando tocamos el tema de accesibilidad, también deberíamos incluir los sistemas de control, en otros términos, mecanismos y componentes, tecnologías e interfaces necesarias para preparar a punto un hogar domótico. Todos ellos de tal modo deben de ofrecer un fácil manejo de estos; es decir, que puedan ser manejados por todos los usuarios que los poseen y quieran hacer uso de ellos, independientemente de sus cualidades o limitaciones.

Hogar domótico

Cuando se habla de la domótica en casa se deben tener en cuenta diversos factores clave como son la existencia de ayudas técnicas, la inclusión de criterios de diseño para todos los usuarios en el momento de emplear la automatización, además, de la existencia y cumplimiento de las normas que existen en el Estado de México que garantice la seguridad y protección de datos para poder llevar a cabo el hogar domótico, ya que la domótica es el conjunto de todos los elementos que son incorporados a la vivienda y ahora son

controlados por sistemas automatizados para poder gestionar diferentes funciones y actuar ya sea de forma independiente, como gestionados, desde una unidad central teniendo la capacidad para conectarse a las redes de comunicación y actuar sobre ellos, con la única finalidad de obtener confort, seguridad, ahorro energético y por supuesto a las comunicaciones.

Desarrollo tecnológico

La teoría explicada anteriormente forma parte de la domótica, a continuación, se adjuntan aportes de investigación y desarrollo tecnológico del Centro Universitario UAEM VALLE DE MÉXICO los cuales pretenden mejorar la calidad de vida a personas con alguna discapacidad motriz.

Desarrollo de un Sistema Automatizado con Tecnologías Innovadoras: Un sistema de información está integrado de una gran variedad de elementos que se interrelacionan entre sí con el fin de apoyar las actividades de una empresa o negocio. Cada sistema debe contar con los elementos necesarios para cumplir el o los objetivos que se persigan de manera eficiente. En caso particular los elementos que integramos en el desarrollo del primer prototipo innovador en el sistema son: el uso de un mini ordenador denominado Raspberry, un microcontrolador ATmega en sustitución y como alternativa a la tarjeta Arduino, disminuyendo así algunos costos, y algunos elementos electrónicos extras. Para así obtener como resultado final el control automático en la proyección y gestión de videos informativos. Siendo el objetivo principal de nuestro sistema de información. El diagrama del sistema se puede ver en la Figura 4 [20].

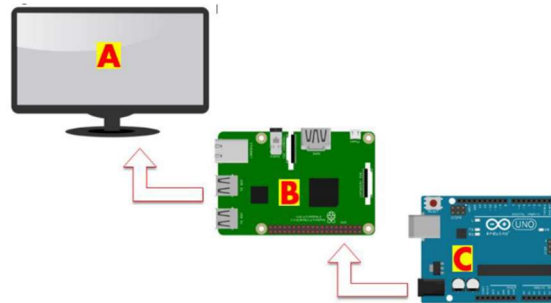


Figura 4 A) Pantalla o monitor conectado a la tarjeta Raspberry por medio de un cable HDMI, B) Tarjeta Raspberry que controla el sistema de videos mediante Python, C) Tarjeta Arduino UNO que controla el tiempo de encendido y apagado mediante un horario establecido.

En el trabajo de la Figura 5, Prototipo Biomédico para el Monitoreo de Signos Vitales con IoT: En este trabajo se desarrolla un sistema de cómputo compuesto de hardware y software, basado en un prototipo portable para la obtención de datos de signos vitales, utilizando tecnologías del internet de las cosas (IoT). En el proceso de obtención de datos, al paciente se le colocan los sensores de temperatura corporal, frecuencia respiratoria y frecuencia cardiaca, los datos obtenidos por los sensores son enviados a conexiones inalámbricas (Bluetooth y WiFi). El médico visualiza los datos utilizando la aplicación diseñada para ejecutarse en el sistema operativo Android, o a través de una página HTML a la cual se puede acceder mediante una dirección IP configurada en el prototipo [21].

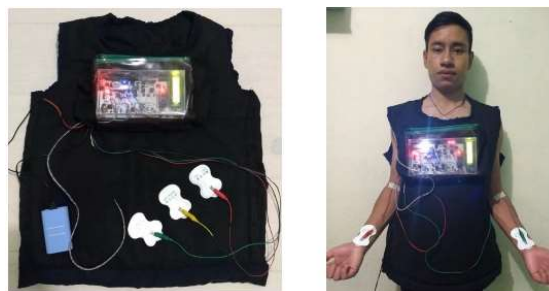


Figura 5 Prototipo montado en un chaleco para el monitoreo de pacientes.

En el trabajo, la domótica como una cultura en la educación superior para la preservación de los recursos energéticos se pretende sensibilizar a los habitantes del estado de México sobre los beneficios que conlleva el uso de las tecnologías y las diversas aplicaciones de la Domótica [22]. En tanto que el escrito *Interoperability of Sensors in Buildings for Monitoring the Search for live Victims after Earthquakes* es un claro ejemplo de cómo las tecnologías de seguridad de la domótica se aplican a situaciones de rescate de personas que se encuentran atrapadas entre los escombros de un edificio colapsado, Figura 6 [23].



Figura 6 Desarrollo de una esfera que monitorea variables físicas en un desastre natural (terremotos).

En la cuestión de entretenimiento (ver Figura 7), en el trabajo desarrollado Sistema para el análisis de la movilidad del miembro superior muñeca – mano con retroalimentación visual virtual el análisis de la cinemática directa del movimiento de las falanges de cada dedo, utilizando el algoritmo Denavit-Hartenberg para el diseño de paramétrico de un guante exo-esquelético y que se aplica para rehabilitar un paciente de la mano usando dispositivos virtuales y visuales para no abandonar el ejercicio de rehabilitación [24]. Por otro parte, en el trabajo Análisis de tensión y desarrollo de una GUI en Matlab aplicada a una estructura de exoesqueleto mediante el criterio de Von Mises se aplica el criterio de esfuerzos en que los exoesqueletos para su posterior impresión en 3D y también como podemos desarrollar la conectividad en el área de Internet de las cosas (IoT), donde el análisis de estructuras también son parte importante de la domótica [25]. El trabajo Parametrización de terapia física por falanges de la mano humana describe que la domótica es parte fundamental de la adquisición de información para el desarrollo de dispositivos de adquisición de información para su posterior análisis [26].

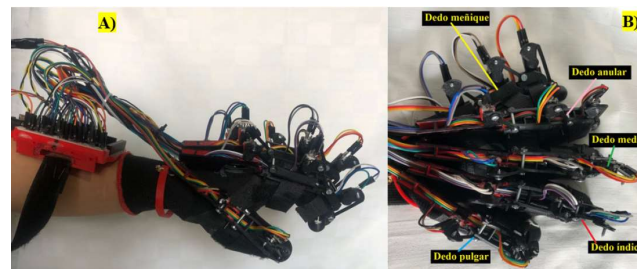


Figura 7 Desarrollo de un guante exoesqueleto para rehabilitación

Respecto al monitores de variables físicas para el confort de las casas y personas al momento de registrar información de cada una de ellas, véase la Figura 8, se desarrolla el diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos que se ven reflejados en una aplicación móvil con sistema operativo Android, en el cual se observa los niveles de humedad del sustrato de una planta. El sensor fue hecho con material ferroeléctrico PVDF utilizando la técnica de Electrospinning [27].

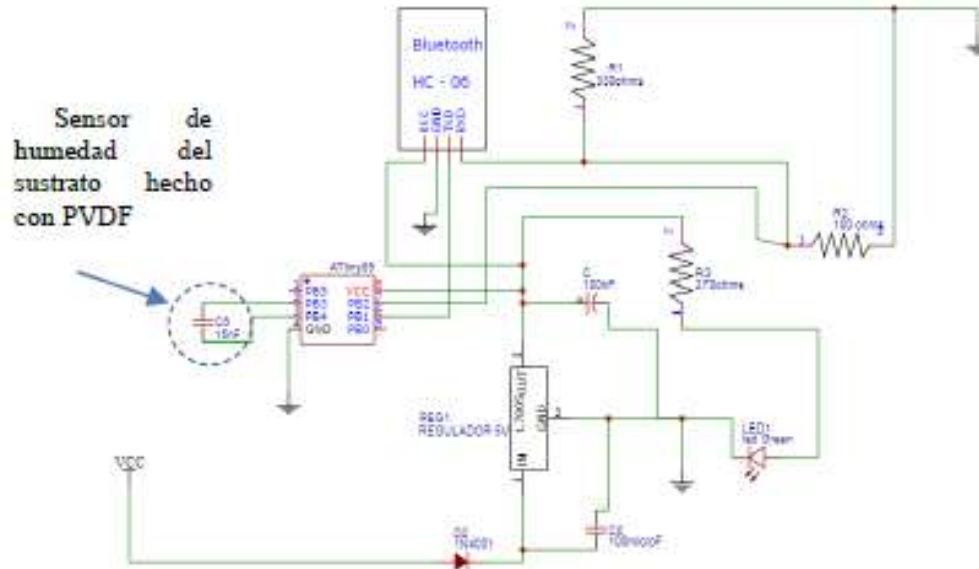


Figura 8 Desarrollo de un guante exoesqueleto para rehabilitación

Propuesta de ahorro energético en Centro Universitario UAEM Valle de México: Este trabajo consiste en un estudio energético para nuestra institución para hacer adaptaciones de Domótica para la optimización de recursos. (Figura 9) [28]. En la Figura 9 A, se observa la propuesta de distribución de paneles solares en los diferentes edificios del Centro Universitario UAEM Valle de México. Los paneles están colocados donde hay más gasto de energía por los alumnos y maestros, ya que se encuentran equipos de cómputos, servidores, Access points, impresoras, y entre otros aparatos electrónico. En la Figura 9 B, podemos observar el funcionamiento de cada panel, utilizando inversores para poder convertir corriente continua en corriente alterna y así lograr utilizar con normalidad nuestros aparatos electrónicos. En el trabajo hecho se hizo un levantamiento lumínico sustentado en la Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, "Condiciones de iluminación en los centros de trabajo", justificando las mediciones efectuadas, garantizando mayor eficiencia en las áreas de trabajo cuantificando el número de lámparas, tipo de luz y potencia individual.

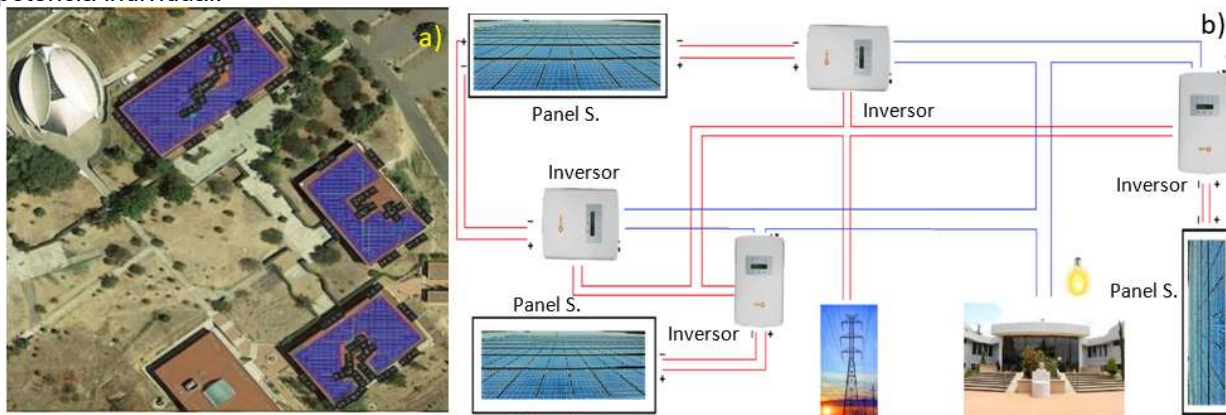


Figura 9 a) Distribución de paneles en los edificios, b) Paneles solares con sus inversores.

En la Figura 10, se observa el diseño, construcción y estudio de la eficiencia de los paneles verde, mediante un sistema de monitorización de variables físicas: El trabajo consiste en determinar las zonas de temperatura que ayudan a la mejora del cultivo sobre paneles verdes [29].

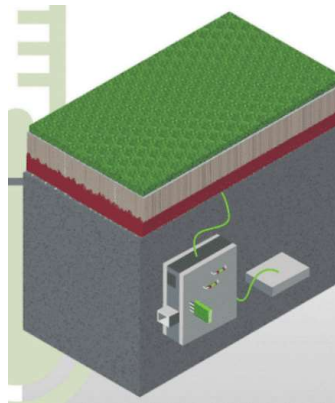


Figura 10 Módulo de panel verde y su sistema de monitoreo

Conclusión

En la actualidad el desafío más grande que enfrentan las personas con discapacidad motriz es la eficiencia y la velocidad que manifiesta el mundo moderno, ya sea cualquier actividad que no pueda ser realizada en forma rápida y autónoma representa un alto inconveniente en la calidad de vida de estas personas, es por ello que un inmueble equipado con dispositivos inteligentes vaya más allá de ser un lujo pues su mayor ventaja es ser gestionado y controlable de manera remota; este factor permite la posibilidad de no realizar cada una de nuestras actividades con apoyo de terceras personas de forma presencial, ganando tanto recursos como tiempo.

Las extensas posibilidades de automatización y, por encima de todo, la personalización de las funciones domóticas hace que los entornos del inmueble sean aún más cómodos y flexibles, adaptándose a cada una de las necesidades de los usuarios.

Referencias

- [1] “Definición de domótica — Definicion.de,” Definición.de. [Online]. Available: <https://definicion.de/domotica/>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [2] Prosegur, “Evolución de la domótica: Cómo nace y cómo es ahora - Blog Prosegur,” Blog de Prosegur, 24-May-2018. [Online]. Available: <https://blog.prosegur.es/evolucion-de-la-domotica-historia/>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [3] “Domótica: inteligencia artificial en el hogar,” Blog Oi Realtor, 11-May-2021. [Online]. Available: <https://www.oirealtor.com/noticias-inmobiliarias/domotica-inteligencia-artificial-en-el-hogar/>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [4] CASADOMO, “El mercado de la Domótica e Inmótica continúa creciendo, según el último estudio de CEDOM,” CASADOMO, 01-Feb-2018. [Online]. Available: <https://www.casadomo.com/2018/02/01/mercado-domotica-inmotica-continua-creciendo-ultimo-estudio-cedom>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [5] Uva.es. [Online]. Available: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/26328/TFG-P-709.pdf?sequence=1>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [6] NetWORK Security: Secure Firewall + Workload. 2021.
- [7] R. Hernández Balibrea, J. Carlos, S. Aarnoutse, and R. Hernández, Upct.es. [Online]. Available: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/2793/pfc4381.pdf>.

- [8] [Accessed: 07-Jul-2022].
Org.mx. [Online].
Available: <https://www.ance.org.mx/Normalizacion/Pages/Informacion/data/Sectores%20tecnológicos/DOMÓTICA.pdf>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [9] "Domótica - Tecnología - Domótica," Domoticus.com. [Online].
Available: <https://www.domoticus.com/es/tecnologia/domotica.html>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [10] Bibing.us.es. [Online]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/10939/fichero>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [11] Domotizados.co. [Online]. Available: <https://domotizados.co/riesgos-de-la-domotica/>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [12] "Definición de domótica — Definicion.de," Definición.de. [Online]. Available: <https://definicion.de/domotica/>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [13] Domoticas.store. [Online]. Available: <https://www.domoticas.store/historia-de-la-domotica/>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [14] NetWORK Security: Secure Firewall + Workload. 2021.
- [15] G. Ruiz, "Tipos de Sensores para Domótica," PENTADOM Edificios Inteligentes, 25-Jan-2021. [Online]. Available: <https://pentadom.com/tipos-de-sensores-para-domotica/>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [16] "¿Qué tipo de sensores domóticos hay disponibles en el mercado?," ¿Qué tipo de sensores domóticos hay disponibles en el mercado? | SIMON. [Online]. Available: <https://www.simonelectric.com/blog/que-tipo-de-sensores-domoticos-hay-disponibles-en-el-mercado>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [17] "Domótica: inteligencia artificial en el hogar," Blog Oi Realtor, 11-May-2021. [Online]. Available: <https://www.oirealtor.com/noticias-inmobiliarias/domotica-inteligencia-artificial-en-el-hogar/>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [18] W. Martínez, "8 mejores aplicaciones para gestionar el hogar: domótica, tareas, mantenimiento y más," Andro4all, 02-Apr-2021. [Online]. Available: <https://andro4all.com/aplicaciones/mejores-aplicaciones-para-domotica-tareas-mantenimiento-del-hogar>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [19] Uva.es. [Online]. Available: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/26328/TFG-P-709.pdf?sequence=1>. [Accessed: 07-Jul-2022].
- [20] Juan Carlos Belen Luna y Carlos Omar González, "Desarrollo de un Sistema Automatizado con Tecnologías Innovadoras", por Editorial Académica Española. International Book Market Ltd. ISBN: 978-9-44027-
- [21] Germán Trinidad Zárate Ocaña y Carlos Omar González, "Prototipo Biomédico para el Monitoreo de Signos Vitales con IoT", por Editorial Académica Española. International Book Market Ltd. ISBN: 978-620-0-02346-
- [22] Carlos Omar González Morán, José Guadalupe Miranda Hernández y Héctor Herrera Hernández (2015), La domótica como una cultura en la educación superior para la preservación de los recursos energéticos, COMPETENCIAS PROFESIONALES EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR, Especialidad en Logística, Jenny Alvarez Botello (Compiladora), Noviembre 2015, Editorial Cigome, S.A. de C.V., Servicios Editoriales Bonobos, ISBN 978-607-8099-83-2
- [23] Alma Delia Cuevas-Rasgado, Carlos Omar González-Morán, Asdrubal López Chau, Ulrich Bröckl, "Interoperability of Sensors in Buildings for Monitoring the Search for live Victims after Earthquakes", Computación y Sistemas, Vol. 26, No 1 (2022). ISSN: 2007-9737
- [24] Juan Carlos Belen Luna*, Héctor Rafael Orozco Aguirre, José Martin Flores Albino,

- Gabriela Gaviño Ortiz, Carlos Omar González Morán, “Sistema para el análisis de la movilidad del miembro superior muñeca – mano con retroalimentación visual virtual”. Revista Investigación Operacional, Vol. 43, No. 1, 79-89, 2022. ISSN: 0257-4306
- [25] González Woge O., G. Gaviño Ortiz* C. O. González-Morán, J. G. Miranda Hernández, A. López Chau. “Análisis de tensión y desarrollo de una GUI en Matlab aplicada a una estructura de exoesqueleto mediante el criterio de Von Mises”. Revista Investigación Operacional, Vol. 43, No. 2, pp. 278-294, 2022. ISSN: 0257-4306
- [26] Juan Carlos Belén luna, Carlos Omar González Morán, José Martín flores albino y Héctor Rafael Orozco Aguirre “Parametrización de terapia física por falanges de la mano humana”. Research in computing science, 149(8), ISSN: 1870-4069. pp. 555-569
- [27] Lizbeth Berenice Contreras Cariño, Carlos Omar González Morán, “Diseño y construcción de Sensor de Humedad IoT hecho de PVDF para aplicaciones en la Industria del cultivo” Revista Research in Computing Science, ISSN: 1870-4069.
- [28] Muñoz Martínez Lizeth Guadalupe, Nolasco Romero Alix Xiomara, Olguin Galvan Frida Paola, Romero Mendoza Sandra Kareli, González-Morán Carlos Omar, “Propuesta de ahorro energético en Centro Universitario UAEM Valle de México” UTCJ Theorema Revista Científica, ISSN: 2448-7007, Artículo 13, Edición 13, pp. 94 – 99
- [29] O. González-Woge, J.C. Baltazar-Escalona, H. Herrera-Hernández, C. O. González-Morán, "Diseño, construcción y estudio de la eficiencia de los paneles verde, mediante un sistema de monitorización de variables físicas", revista Theorema, Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Chihuahua. Número 7, Año 3, Julio-Diciembre 2017. pp. 150-157. ISSN: 2448-7007

Interfaz gráfica para registro de visita médica

M. A. García Ramírez^{*1}, I. Herrera Aguilar¹, J. J. A. Flores Cuautle²,
A. León Reyes¹.

¹Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba,
²CONACYT-Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba
^{*} garciaramirezma1993@gmail.com

Área de participación: Ingeniería Electrónica

Resumen

El registro de visitas médicas es de gran importancia ya que, gracias a este seguimiento, los profesionales de la salud pueden tomar decisiones basadas en el historial médico, permitiendo un mejor seguimiento y tratamiento del paciente. Lamentablemente en algunas ocasiones este seguimiento es inexistente debido a que no existe una herramienta que permita llevar un registro del historial médico del paciente. En el presente trabajo se presenta una interfaz gráfica para el registro de la visita médica, desarrollada en Python en conjunto con QtDesigner, cuenta con la capacidad de almacenar la información del paciente como lo son: datos personales, registro clínico y gráfico de los eventos emulando señales fisiológicas; a su vez, cuenta con la capacidad de generar archivos para el registro de datos y archivos de imagen para el registro gráfico de los datos obtenidos durante la visita.

Palabras clave: GUI, Python, Registro clínico, Base de datos.

Abstract

The record of medical visits is of great importance since, thanks to this monitoring, health professionals can make decisions based on the medical record allowing better monitoring and treatment of the patient. Unfortunately, sometimes this monitoring is nonexistent because no tool allows keeping the medical record. The present work presents a graphical interface for recording medical visits developed in Python in conjunction with QtDesigner. It can store the patient's information, such as personal data and clinical records, and graph the events emulating physiological signals; in turn, it can generate data recording and image files for the graphic recording of the data obtained during the visit.

Key words: GUI, Python, Medical record, Database system.

Introducción

El término "registro de historial médico" se refiere a la recolección de los datos primarios del paciente, en este registro las fuentes de información son: el paciente, médicos, enfermeras, reportes de traslado (ambulancia, primeros auxilios, etc.), exámenes diagnósticos (electrocardiogramas, radiografías, registros laboratoriales, tococardiogramas, etc.); este registro debe de tener la característica de proporcionar datos que sean reproducibles y válidos[1], siendo éste último punto una de las principales debilidades debido a la falta de herramientas que faciliten la recolección de datos fundamentales de la visita[2, 3].

La recolección de esta información regularmente se realiza mediante herramientas mecánicas (máquina de escribir), esto representa dificultades en la dinámica de trabajo debido a que el personal se encuentra propenso a largos periodos de registros debido a la alta demanda de servicios, pérdida física de información y altos gastos de insumos[4].

Por lo anterior, se desarrolló una interfaz gráfica de usuario (GUI), esta herramienta se puede utilizar para recolectar los datos del registro de la visita médica, cuenta con la capacidad de capturar y almacenar la información del paciente dentro de la unidad deseada, también puede realizar el registro en tiempo real de señales fisiológicas y generar sus recursos gráficos, así como su almacenamiento.

La importancia de las GUI's radica en ser la principal herramienta de enlace para interactuar con los diferentes sistemas digitales y analógicos que nos rodean [5], para el desarrollo de esta GUI se buscó tener un equilibrio

entre la captura de datos estrictamente necesarios para generar un registro de paciente acertado y tener una interfaz de registro de señales fisiológicas eficiente. Al mismo tiempo tener una interfaz amigable e intuitiva en la cual el usuario pudiera comenzar a utilizarla sin necesidad de previa capacitación.

Metodología

Diseño de Interfaz

Para poder implementar la lógica de operación de la GUI se utilizó como principal plataforma PyCharm 2021.3.2 [6], este entorno de desarrollo integrado (IDE) permite construir, junto con el lenguaje de programación Python, una GUI que fuera intuitiva para el usuario. El código de programación desarrollado fue implementado sobre una interfaz gráfica diseñada por medio del programa QtDesigner 5.11.1 [7], este entorno de trabajo perteneciente a Qt, sirve de herramienta para implementar la lógica de programación orientada a objetos desarrollada por medio de PyCharm, en la figura 1 se observa la lógica de procesamiento de señales que culmina con la presentación de resultados en la GUI desarrollada.

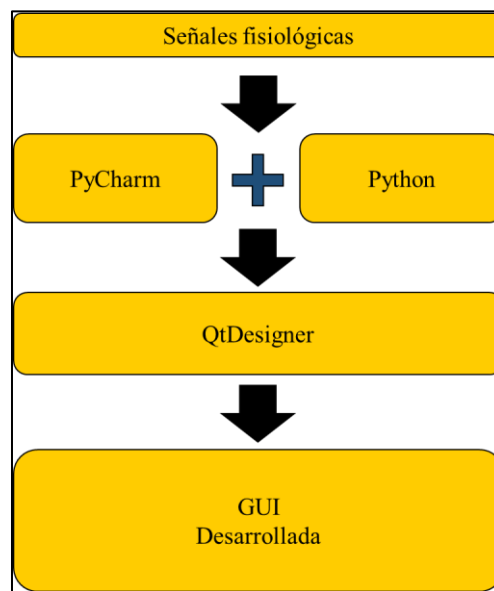


Figura 1. Lógica de desarrollo de la GUI.

Simulación de señales

Con el fin de emular señales fisiológicas capturadas por algún equipo médico, se recurrió al microcontrolador Arduino UNO, este hardware desarrollado por Ivrea es una útil herramienta que nos ayuda como una interfaz de lectura o escritura de distintos tipos de señales analógicas y digitales[8], a pesar de que este hardware cuenta con su propia plataforma de software, el código fue desarrollado utilizando el IDE de PyCharm. A este microcontrolador se le incorporó un par de resistencias variables, estas tienen el fin de representar las variaciones eléctricas que regularmente se encuentran presentes en el cuerpo humano.

El sistema implementado se observa en la figura 2, en esta se muestran las conexiones del Arduino y de las resistencias variables denominadas R1 y R2. Estos elementos tomaron el lugar de las variables analógicas denominadas A0 y A1 del microcontrolador Arduino, a su vez, el microcontrolador se comunica vía serial a una computadora, lugar en donde se realiza la lectura, procesamiento y finalmente la implementación de la GUI. El hardware implementado permite comprobar la interconexión entre la interfaz y las posibles señales de entrada.

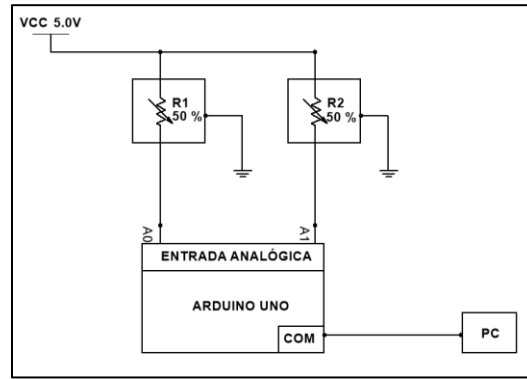


Figura 2. Diagrama de conexión entre el Arduino UNO y resistencias variables que emulan señales fisiológicas.

Desarrollo

La interfaz desarrollada está basada en la plataforma QtDesigner, en esta se diseñó una ventana principal de navegación o QMainWindow en donde el usuario puede interactuar con los diferentes elementos contenidos, en la figura 3 se pueden observar sus elementos. En esta interfaz el objeto que ocupa una mayor área es el denominado QStackedWidget, este elemento se caracteriza por su capacidad de cambiar su contenido según se la necesidad del usuario, esto ocurre sin generar ventanas emergentes lo que le otorga al usuario una mayor fluidez en su experiencia.

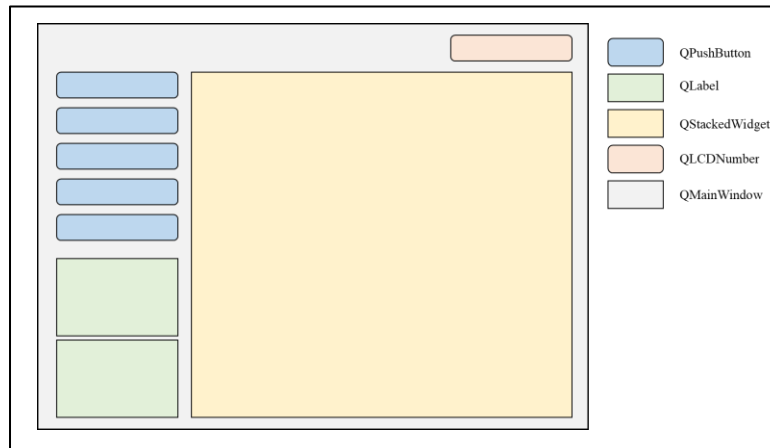


Figura 3. Elementos contenidos en la ventana diseñada en QtDesigner.

En el código desarrollado para la lógica de operación de la GUI se recurrieron a varias librerías para su correcto funcionamiento, en la tabla 1 se observan las diferentes librerías utilizadas. Entre las librerías utilizadas se puede destacar el funcionamiento de algunas de ellas, por ejemplo, la importancia de la librería PyQt5 radica en ser nuestra herramienta de enlace entre la plataforma de diseño (QtDesigner) y el IDE donde desarrollamos la lógica de operación mediante lenguaje Python (PyCharm). También es importante mencionar a pyfirmata que nos permitió comunicar a nuestro IDE con el microcontrolador Arduino UNO, mientras que win32com nos permitió generar una hoja de Excel con la información otorgada por el usuario.

Tabla 1. Librerías utilizadas para el desarrollo de la lógica operacional.

Import	Librería
QtWidgets	PyQt5
QtCore	
pyplot	matplotlib
animation	
backend_qt5agg	

style	
collections	deque
Arduino	pyfirmata
util	
client	win32com

Después de la declaración de las librerías a utilizar se estructuró el código. El objetivo de este código fue trabajar en dos clases; una clase se centra en el tratamiento de las señales fisiológicas emuladas, en este caso en la lectura y representación visual de datos que provienen del microcontrolador Arduino UNO; mientras que la clase principal del programa contiene toda la lógica de operación de la GUI, a su vez tiene como principal objetivo la captura de datos y la comunicación con la aplicación de Microsoft Excel para que se pueda generar un historial de registros, en la figura 4 se observa a detalle la lógica de operación de las dos clases implementadas en el código.

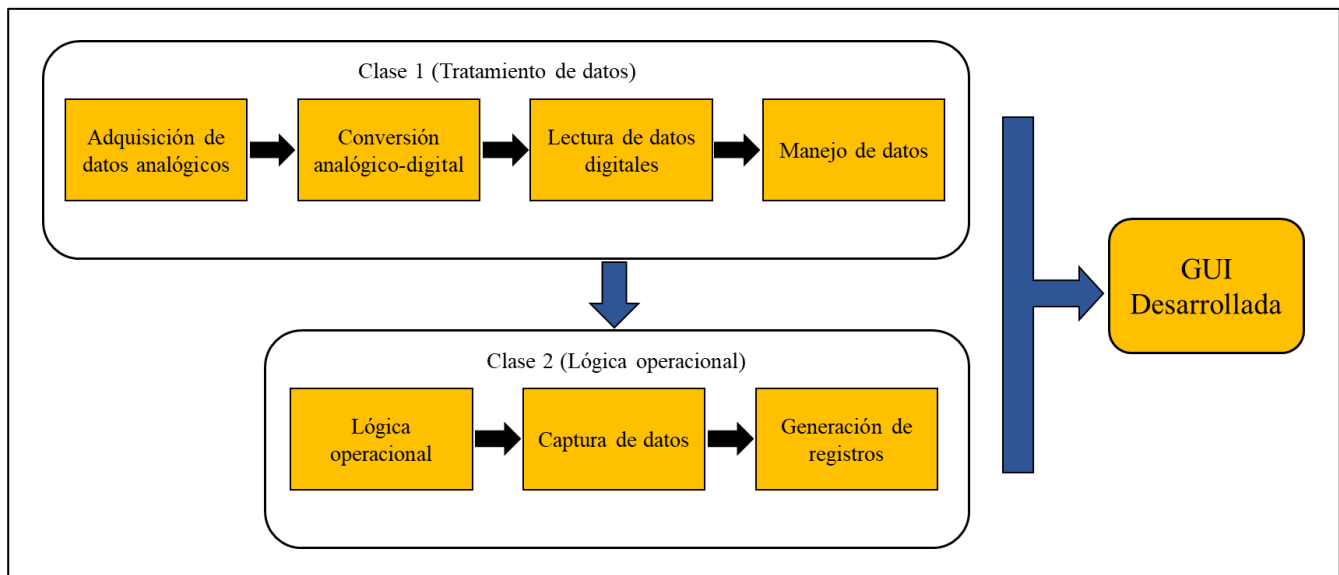


Figura 4. Lógica de clases desarrollada en PyCharm.

Como previamente se menciona, el elemento más importante de la interfaz es el QStackedWidget, en él se contienen todos los elementos necesarios para la visualización de la gráfica generada, captura de datos, presentación de datos y enlace con la aplicación de Microsoft Excel. El listado de elementos utilizados para la construcción de la QStackedWidget se muestra en la Tabla 2. Algunos elementos de la lista contienen una doble función, el objetivo de esta decisión fue no recurrir a la sobrepoblación del QStackedWidget, lo que traería como consecuencia una interfaz que presentara en su manejo un reto para el usuario.

Tabla 2. Elementos que contiene el QStackedWidget.

Elemento	Función
QLabel	Visualización de información.
	Presentación de imágenes.
QLCDNumber	Visualización de información.
QTableWidget	Visualización de información.
QLineEdit	Entrada de información como editor de texto.
QComboBox	Contenedor de listas de opciones para el usuario.
QPushButton	Comunicación entre ventanas y monitores LCD.
	Comunicación con aplicación externa (Microsoft Excel).
	Control QLCDNumber.
	Control de gráficas.

Resultados

En la figura 5 se observa la GUI desarrollada, cuenta con un tamaño de 1221x793 pixeles y es controlada por medio de los elementos QPushButton ubicados en la zona izquierda que se vinculan con el QStackedWidget central, esta ventana dinámica es la que se encarga de mostrar la información al usuario, para efectos representativos se le dio un enfoque dentro del área materno fetal.



Figura 5. GUI desarrollada, en esta se observan los elementos que la conforman y la ventana de bienvenida. En el recuadro azul se observa el panel de control de la GUI, remarcado con color rojo la visualización de la hora local y de color morado el área de visualización y captura de datos.

Se diseñaron un total de 5 ventanas contenidas dentro del QStackedWidget, estas están enfocadas en la captura de datos, visualización de datos, visualización de gráficas y el enlace con la aplicación Microsoft Excel. En la figura 5 se observa la ventana de bienvenida, en la figura 6.A se observa la primera ventana de captura de datos generales, en los que se recurre al QLineEdit para ingresar texto. En la figura 6.B se agregan los QComboBox para escoger elementos de un listado para información universal como el tipo de sangre y semana gestacional.

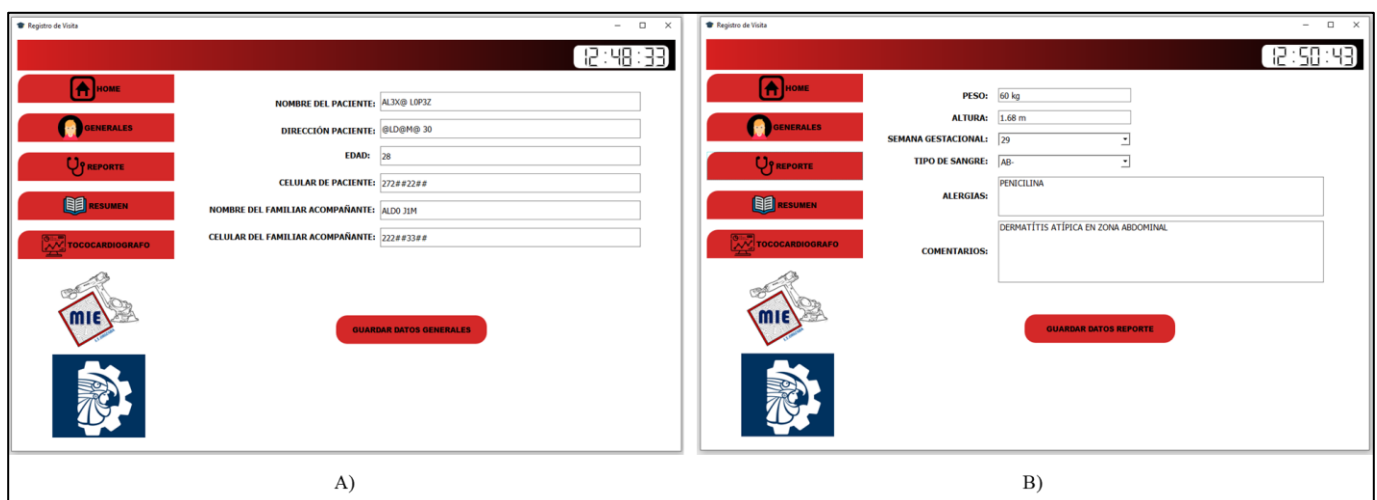


Figura 6. A) Captura de datos del paciente mediante QLineEdit. B) Presencia de elementos QComboBox para opciones universales.

La figura 7.A muestra la QTableWidgetItem donde se presentan los datos proporcionados por el usuario y dónde se ubica el QPushButton que nos genera el registro en Microsoft Excel. La figura 7.B en la parte superior muestra la gráfica generada por las lecturas del Arduino UNO en tiempo real, así como su panel de control gráfico. Al tiempo que en la parte inferior se observan los QLCDNumber que nos muestran datos representativos para los fines del ejercicio, estos también se encuentran vinculados al set de lecturas de Arduino UNO.

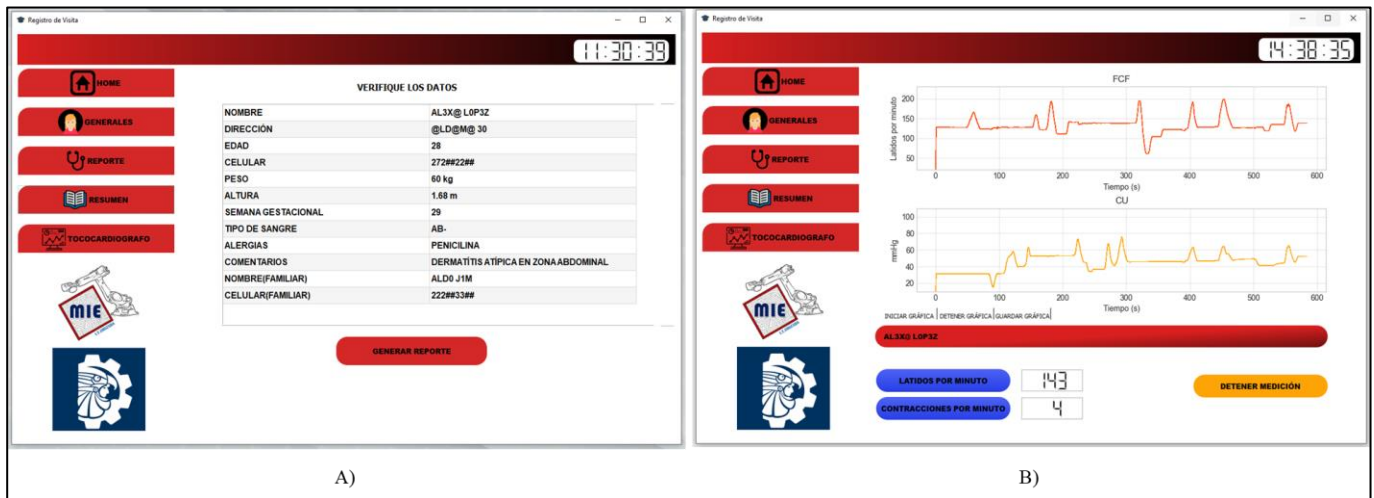


Figura 7. A) Resumen de datos del paciente en QTableWidgetItem. B) Presentación de lecturas en tiempo real de las mediciones de Arduino UNO.

Esta GUI también cuenta con la capacidad de guardar la gráfica mostrada en un archivo de imagen de formato png, se puede apreciar en la figura 8 la imagen guardada que se generó de las lecturas mostradas en la figura 7, este archivo se guarda en la misma carpeta contenedora del código o se puede escoger alguna otra carpeta previamente.

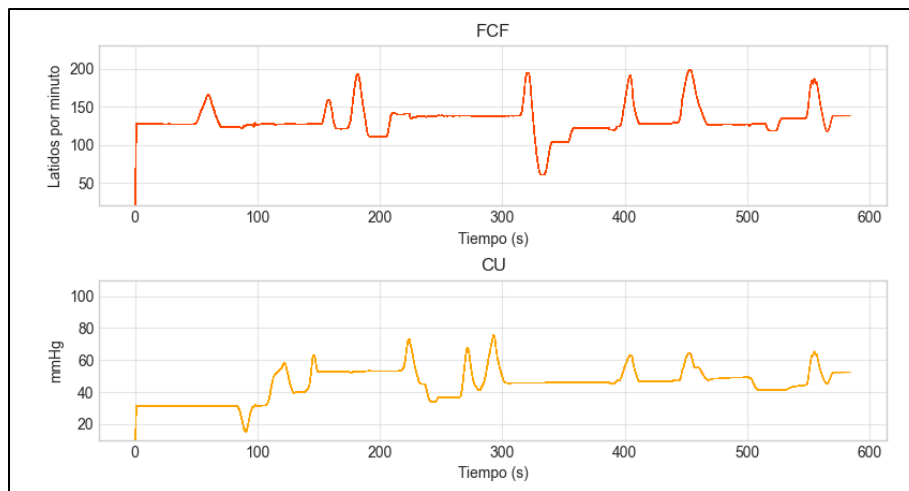


Figura 8. Archivo png generado en base al tratamiento de señales sensado en tiempo real por el Arduino UNO, en esta se emulan la lectura de señales de una paciente gestante.

Al momento de interactuar con la pantalla de resumen de datos del paciente (Figura 7.A) se puede generar un archivo en la aplicación de Microsoft Excel en el que se contienen los datos ingresados en la GUI, en la figura 9 se observa la información enviada desde la GUI al archivo generado, desde ese nuevo archivo se puede establecer la dirección para guardar la información, esto es de gran ventaja para el usuario ya que puede decidir la ruta libremente.

1	DATOS	INFORMACIÓN PACIENTE
2	NOMBRE	AL3X@ LOP3Z
3	DIRECCIÓN	@LD@M@ 30
4	EDAD	28
5	CELULAR	272##22##
6	PESO	60 kg
7	ALTURA	1.68 m
8	SEMANA GESTACIONAL	29
9	TIPO DE SANGRE	AB-
10	ALERGIAS	PENICILINA
11	COMENTARIOS	DERMATÍTIS ATÍPICA EN ZONA ABDOMINAL
12	NOMBRE(FAMILIAR)	ALDO J1M
13	CELULAR(FAMILIAR)	222##33##

Figura 9. Información enviada a la aplicación Microsoft Excel desde la GUI desarrollada.

Trabajo a futuro

Como área de oportunidad se propone trabajar en la compatibilidad de esta GUI con aplicaciones de correo electrónico, otorgar al usuario la opción de compartir los resultados de las mediciones e información del paciente por algún servicio de correo electrónico representaría un gran avance en los alcances de esta GUI.

Esta GUI puede ser una primera aproximación para una aplicación de equipo de tocardiografía por lo que se propone trabajar en la comunicación con dispositivos médicos de este tipo.

Conclusiones

Se desarrolló una GUI que tuviera una gran facilidad de operación para el usuario, lo que tiene como consecuencia una interfaz que no requiere de capacitación previa.

La GUI otorga al usuario la capacidad de guardar los datos del paciente en la ruta en dónde crea más conveniente independiente a los datos registrados, esto le otorga a la GUI la capacidad de llevar registros de todas las áreas clínicas.

En el presente trabajo se generaron datos por un microcontrolador Arduino UNO que fueron representados en forma gráfica simulando señales fisiológicas, esto implica que la lectura de datos puede adaptarse para alguna otra aplicación, además, la capacidad de guardar imágenes abona a que la GUI pueda ser utilizada en cualquier área clínica.

La capacidad de generar registros de datos facilita la comunicación con otras plataformas de bases de datos como SQLite, esto le permite ser atractiva para poder pertenecer a un sistema de gestión de datos global y no únicamente local.

Referencias

- [1] C. KK, "Manual measurement of QT dispersion in patients with acute myocardial infarction and nondiagnostic electrocardiograms.," *Acad Emerg Med*, vol. 9, 2019.
- [2] A. Worster, "Advanced Statistics: Understanding Medical Record Review (MRR) Studies," *ACAD EMERG MED*, vol. 11, p. 6, 2017.

- [3] P. J. Boyd NF, Ginsburg AD, Myers RE, "Observer variation in the classification of the information from medical records.," p. 32, 2018.
- [4] B. JF, "The misinformation era: The fall of the medical record," *Ann Intern Med*, p. 4, 2020.
- [5] N. A. D. Antti Oulasvirta, Morteza Shiripour, Maximilian John, Andreas Karrenbauer, "Combinatorial Optimization of Graphical User Interface Designs," *Proceedings of the IEEE*, vol. 108, p. 31, 3, March 2020 2020.
- [6] JetBrains, "PyCharm," 2021.3.2 ed, 2022.
- [7] Q. Group, "Qt Designer," 5.11.1 ed, 2018.
- [8] Arduino. Arduino® UNO R3 [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>

Emulador Solar Fotovoltaico basado en Modelo Simplificado con Interfaz Inalámbrica

Aracely Zapién Castillo¹, José Ángel Zumaya García¹, María Andrea Olivo Calles¹, Brenda Lizeth Reyes García², Pedro Martín García Vite^{1,2,3},
Maestría en Ciencias de la Ingeniería¹, Doctorado en Ciencias de la Ingeniería², Maestría en Ingeniería Eléctrica³
Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Ciudad Madero,
Av. 1o. de Mayo y Sor Juana Inés de la Cruz s/n, C.P.89440, Cd. Madero, Tamaulipas, México

g20073012@cdmadero.tecnm.mx, g20073007@cdmadero.tecnm.mx, g22073001@cdmadero.tecnm.mx,
d09071201@cdmadero.tecnm.mx, pedro.gv@cdmadero.tecnm.mx*

Área de participación: Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Resumen

La potencia proporcionada por los paneles fotovoltaicos (PV) se refleja en las curvas características I-V y P-V, y depende tanto de factores ambientales, como la temperatura e irradiancia, como de las condiciones de carga. Esta dependencia dificulta realizar pruebas preliminares en ambientes controlados ya que, modificar las variables ambientales dentro de un laboratorio suele ser tardado y costoso. Por lo tanto, en este artículo se presenta el diseño e implementación de un emulador solar PV que reproduce un modelo PV previamente obtenido. Esto mediante una metodología simplificada que extrae los parámetros de un panel solar genérico. De esta manera, con base al valor medido de una carga y considerando condiciones de irradiancia y temperatura deseadas, el emulador encuentra la correspondencia del voltaje calculado por el modelo. A fin de facilitar la transportabilidad, las correspondencias voltaje-corriente están almacenadas en una tabla lookup dentro de una Raspberry Pi, la cual actúa como interfaz inalámbrica. La validación de la metodología y el desempeño del emulador propuesto se corroboran mediante la implementación experimental y la obtención de sus curvas características.

Palabras clave: Emulador solar, modelo fotovoltaico, curva característica fotovoltaica.

Abstract

The power provided by photovoltaic (PV) panels is reflected in the I-V and P-V characteristic curves, and depends on both environmental factors, such as temperature and irradiance, and load conditions. This dependency makes it difficult to carry out preliminary tests in controlled environments, since modifying environmental variables within a laboratory is usually time-consuming and expensive. Therefore, this article presents the design and implementation of a PV solar emulator that reproduces a previously obtained PV model. This through a simplified methodology that extracts the parameters of a generic solar panel. In this way, based on the measured value of a load and considering the desired irradiance and temperature conditions, the emulator finds the correspondence of the voltage calculated by the model. In order to facilitate portability, the voltage-current correspondences are stored in a lookup table inside a Raspberry Pi, which acts as a wireless interface. The validation of the methodology and the performance of the proposed emulator are corroborated through the experimental implementation and its characteristic curves.

Key words: Solar emulator, photovoltaic model, photovoltaic characteristic curve.

Introducción

Entre las diferentes fuentes de energía renovable, los sistemas de generación eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos (PV) han tomado gran parte del mercado verde energético. Esto debido a sus ventajas como lo son: abaratamiento de sus costos, seguridad, alta confiabilidad, rápida instalación, fácil mantenimiento, no generan

ruido acústico y baja contaminación producida [1, 2]. Un panel solar está compuesto por módulos fotovoltaicos (PV) que, a su vez, se conforman de celdas. Una celda PV es la unidad básica de transformación de energía. Las celdas PV se construyen generalmente con silicio, material semiconductor más empleado en el mercado, que hace posible la generación de un flujo eléctrico a partir de la irradiancia incidente sobre él [3, 4]. La irradiancia es la cantidad de potencia solar por unidad de área incidente en una superficie, y se mide en W/m^2 [5]. En términos de generación, es de gran interés conocer el comportamiento de un panel PV ante diversas circunstancias de operación. El comportamiento de los paneles PV puede ser representado a través de un circuito eléctrico, cuyas ecuaciones generadas son el modelo matemático fotovoltaico. Existen diferentes modelos que describen un panel PV bajo ciertas condiciones de operación, como el modelo de pérdidas óhmicas, el de 1, 2 y 3 diodos [6]. La complejidad de los modelos es directamente proporcional a la cantidad de parámetros a determinar, por ejemplo, para el caso del modelo de 3 diodos existen 9 parámetros, por lo que es el modelo más elaborado de resolver. Una característica principal de estos modelos es la forma trascendente exponencial que requiere métodos iterativos para hallar la solución del conjunto de voltaje y corriente del panel PV, dadas las condiciones de operación. Adicionalmente, para la solución de dicho modelo, se requiere el conocimiento de los parámetros propios que lo definen. Usualmente, estos parámetros no son proporcionados por el fabricante, por lo que forman parte de las incógnitas por resolver. En el presente trabajo se propone, como primera parte, una metodología directa y simplificada para obtener los valores de un panel solar.

Por otro lado, uno de los retos más grandes de los sistemas PV es el aprovechamiento de dicha energía. En la actualidad, se diseñan e implementan distintos emuladores solares que evalúan, en un ambiente controlado, el comportamiento de un sistema PV, lo cual trae consigo varias ventajas: *i)* probar algoritmos de seguimiento de potencia, *ii)* introducir cambios en la temperatura e irradiancia, *iii)* obtener curvas características de modelos genéricos y *iv)* estudiar la respuesta dinámica debido a la interacción con convertidores de potencia [7]. De forma específica, de las diferentes propuestas de emuladores que se encuentran en la literatura destacan: *i)* los basados en convertidores estáticos de potencia, *ii)* los de procesamiento digital, *iii)* los basados en tablas lookup [8]. Los emuladores basados en convertidores contienen una respuesta dinámica rápida pero compleja en el control del ciclo de trabajo en un rango amplio. Los emuladores basados en modelos directos permiten incluir técnicas sofisticadas de control y regulación a costa de altas demandas computacionales. Mientras que los emuladores basados en tablas lookup permiten una respuesta relativamente rápida y la precisión recae sobre la solución de un modelo previamente cargado. Sin embargo, aún requieren el circuito de potencia para generar el par voltaje corriente que corresponde al punto de operación del panel PV. Existen otros tipos de clasificaciones de los emuladores en la literatura, en [9] los clasifican en 4 categorías: basados en el modelo matemático PV, basados en convertidores de potencia, emuladores diseñados usando controladores en tiempo real y los de diseño híbrido. Sin embargo, los emuladores propuestos más populares son los mencionados inicialmente.

Dentro de la literatura, se encuentran varias metodologías para la implementación de dispositivos electrónicos que replican las características. En [10] se propone un emulador PV basado en el modelo PV de un solo diodo junto con una fuente constante de corriente. Este demostró un comportamiento dinámico compatible con el de un sistema PV real con un tiempo de retraso de 3.5 ms bajo pruebas de cambio de insolación del 30 al 60 por ciento.

Por su parte, en [11], se expone un prototipo usando un convertidor reductor de lazo cerrado en combinación con un controlador PI que fue implementado en la plataforma dSPACE DS1104. Los resultados experimentales mostraron que la eficiencia del emulador PV era mayor al 90 % bajo el MPP y lograba reproducir correctamente las características de corriente y voltaje. También, en [12] se presenta el desarrollo de un emulador PV basado en un convertidor reductor con un controlador PI de doble lazo. Este experimento fue validado con un algoritmo de MPPT y un controlador de carga de baterías. Usaron condiciones ambientales variables como irradiancia, temperatura y velocidad de viento como referencia para el modelo en el emulador. La simulación del modelo propuesto fue creada y probada con el paquete Matlab-Simulink. Las características I-V y P-V del emulador fueron comparadas con el modelo PV real de referencia y demostró ser una propuesta confiable con bajo tiempo de respuesta y tener bajo rizado en la salida del voltaje y la corriente [12].

Es muy importante la implementación del modelo PV adecuado a la complejidad y estrategia de control del emulador, por lo que, en este trabajo, como segundo objetivo, se aborda el modelo basado en tabla lookup, el cual se fundamenta en el modelo de pérdidas óhmicas, también llamado de 4 parámetros. Un aspecto por destacar es que se emplea una Raspberry Pi para albergar el modelo matemático y la tabla lookup correspondiente. Permitiendo de esta manera conectarse de manera inalámbrica al emulador, ya que la Raspberry Pi funge como interfaz. De esta manera, es posible imitar el comportamiento de un panel PV.

Metodología

Diseño experimento

En el presente trabajo se propone una metodología directa y simplificada para obtener los valores de corriente, voltaje y potencia de un panel solar PV. Esto se lleva a cabo con base en el modelo de pérdidas óhmicas, el cual, al poseer solo 4 parámetros, reduce la complejidad del modelo y se eficientiza la obtención de los parámetros. Con base en la metodología propuesta, se construye un emulador PV que se encarga de imitar el comportamiento de un panel PV. El emulador toma los valores de un panel PV compuesto por 36 celdas solares RTC France, cuyos parámetros del fabricante, bajo condiciones estándares de operación ($T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $G=1000\text{ W/m}^2$), se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros del emulador.

Símbolo	Parámetro	Valor	Unidad
P_{MPP}	Potencia máxima	0.3107	W
I_{MPP}	Corriente en la potencia máxima	0.6894	A
V_{MPP}	Voltaje en la potencia máxima	0.4507	V
I_{SC}	Corriente de cortocircuito	0.7603	A
V_{OC}	Voltaje de circuito abierto	0.5728	V

Como se menciona anteriormente, un emulador es un sistema que representa fielmente el comportamiento de un módulo PV, por ello para alcanzar este objetivo se propuso una topología basada en una tabla lookup, una Raspberry Pi y diferentes componentes electrónicos. La estructura planteada en este trabajo se presenta a detalle en el diagrama de bloques de la Figura 1. En ella se aprecian las partes que conforman el emulador PV y que se describirán en las siguientes secciones.

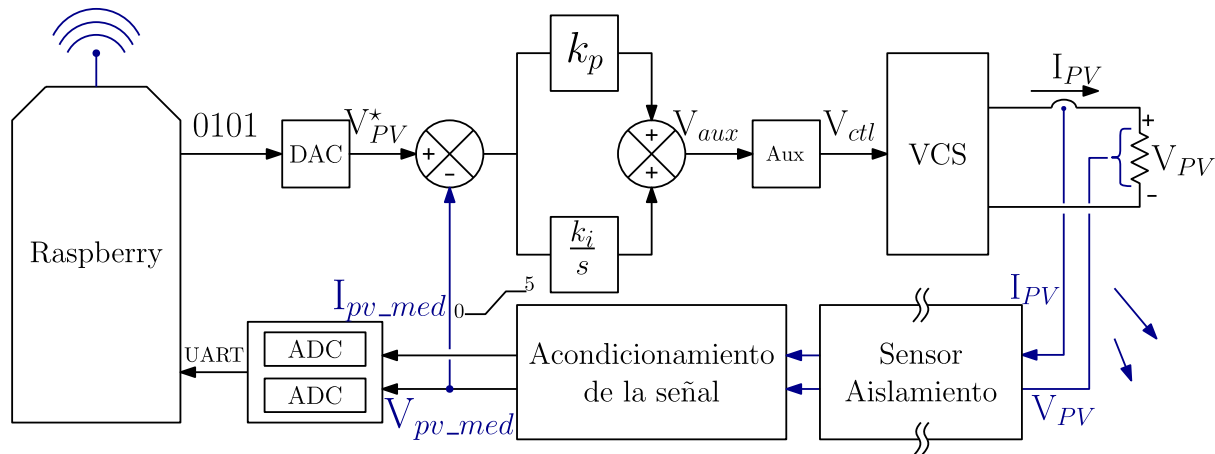


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema propuesto.

Descripción del modelo

El modelo se describe mediante (1). Las expresiones correspondientes surgen del circuito de la Figura 2.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (1.1)$$

$$I_d = I_0 \left[e^{\frac{qV_{pv}}{AKT_j}} - 1 \right] \quad (1.2)$$

$$I_0 = \frac{I_{SC}}{\left[e^{\frac{qV_{pv}}{AKT_j}} - 1 \right]} \quad (1.3)$$

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} \cdot [I_{SC-ref} + \alpha_{SC} \cdot (T_j - T_{ref})] \quad (1.4)$$

donde I_{pv} es la corriente fotovoltaica generada por el panel, I_{ph} es directamente proporcional a la irradiancia (G), I_d es la corriente del diodo, q es la carga de un electrón ($1.602 \times 10^{-19} \text{C}$), K es la constante de Boltzmann ($1.381 \times 10^{-23} \text{J/K}$) y T_j es la temperatura de operación de la celda en grados Kelvin. La ecuación (1.3) resulta de la premisa de que $I_{pv} = 0$ y de la aproximación $I_{ph} \approx I_{SC}$.

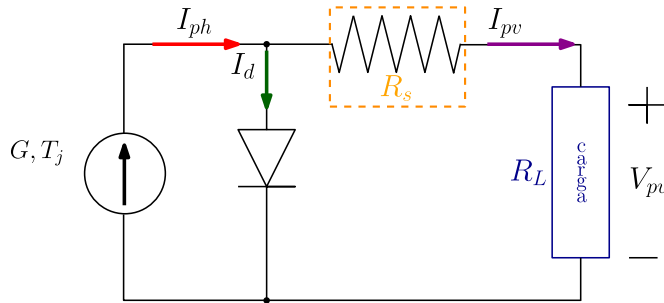


Figura 2. Circuito propuesto de una celda PV con R_s .

R_s se obtiene a través de los pasos descritos en [13]. El modelo simplificado se desarrolla en Matlab con base en las ecuaciones de pérdidas óhmicas o de 4 parámetros: A , I_o , I_{ph} y R_s . Los resultados del modelo son un conjunto de valores de voltaje, corriente, potencia y resistencia, que a su vez generan las curvas características I-V y P-V. Dichos resultados se almacenan en una hoja de cálculo en Excel y se extraen a un programa elaborado en Python, el cual rescata las variables eléctricas antes mencionadas y las almacena en una tabla lookup. Posteriormente, se extrae y envía información de esta tabla (V_{pv}) con base a los datos sensados (I_{pvmed} , V_{pvmed}) tal como lo muestra la Figura 3.

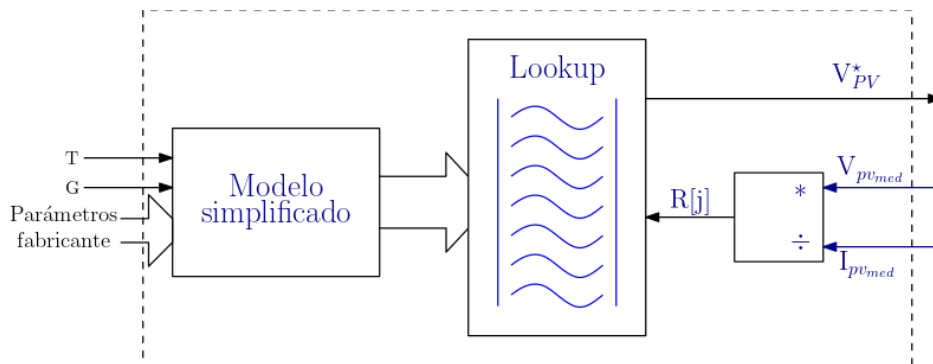


Figura 3. Proceso interno en Raspberry Pi.

Es importante mencionar que el emulador actual opera bajo condiciones nominales de temperatura e irradiancia ($25 \text{ }^\circ\text{C}$ y 1000 W/m^2 , respectivamente). No obstante, las condiciones de operación pueden cambiar, si son proporcionadas desde el modelo matemático en Matlab, generando así una nueva tabla lookup cada vez que haya cambios en la irradiancia y temperatura de operación deseadas.

El programa codificado en Python se implementa en una Raspberry Pi, la cual es una computadora de tamaño reducido ideal para proyectos de electrónica debido a sus numerosas herramientas. Incluso, es posible conectarse inalámbricamente a este dispositivo por medio del protocolo SSH desde otra computadora conectada a la misma red WiFi. De esta manera el emulador puede trabajar de manera remota teniendo a la Raspberry Pi como interfaz.

Preparación

El proceso que se lleva a cabo en el interior de la Raspberry Pi es parte indispensable del emulador PV, ya que permite que el circuito electrónico propuesto funcione como un sistema PV. Este comienza cuando el programa

de Python envía una señal de voltaje inicial. Dicha señal se conforma de ocho bits que representan en forma proporcional el valor de 12 V, que se aplica a una fuente de voltaje controlada por voltaje (VCS, del inglés Voltage Controlled Source). Al tener un voltaje inicial se genera una corriente capaz de ser leída por los sensores conectados al ADC (Analogue to Digital Converter). El siguiente paso es leer los datos de corriente y voltaje enviados por el ADC mediante comunicación UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) a la Raspberry Pi. Enseguida, se calcula matemáticamente la resistencia de la carga por medio de la ley de ohm y de los datos sensados. Posteriormente, se aplica la función “`np.where()`” para hallar el valor de la tabla lookup que le corresponde al valor externo de resistencia. La función “`np.where()`” almacena el índice del valor de la tabla lookup que más se acerca al valor de la resistencia del sistema e indica al programa su voltaje óptimo. Después se hace una conversión del valor de voltaje a una señal equivalente de 0 – 2.8 V, ya que una de las fuentes VCS amplifica la señal. Luego se convierte este dato a un número binario de 8 bits, el cual se envía a través de los pines digitales de la Raspberry Pi. Este proceso se repite cíclicamente desde la lectura de los sensores de voltaje y corriente. Se muestra a detalle en el diagrama de flujo de la Figura 4.

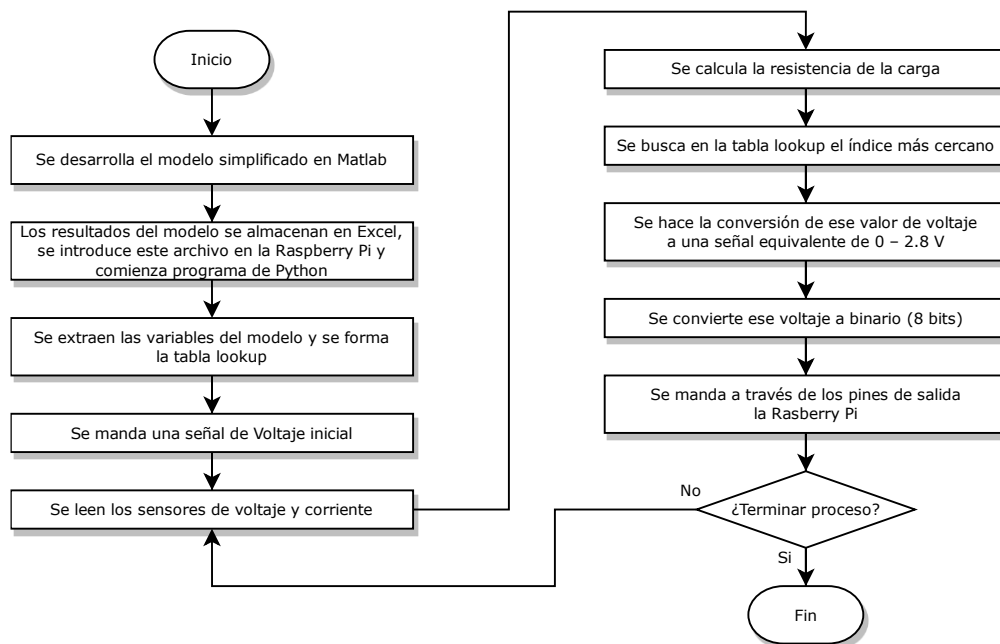


Figura 4. Diagrama de Flujo del proceso interno en Raspberry Pi.

Para lograr una comunicación entre los diferentes componentes del emulador, se requiere un convertidor digital analógico (DAC) entre la Raspberry Pi y las fuentes VCS, y un ADC entre los sensores de voltaje-corriente y la Raspberry Pi. Los circuitos utilizados en los diferentes convertidores y sus características principales se presentan en la Tabla 2. Además, para sensar la corriente se utiliza el sensor ACS712 5A, mientras que para el voltaje se emplean dos sensores PEM1-S12-S12-S conectados en serie, esto con el propósito de alcanzar a medir hasta 24 V de forma aislada.

Tabla 2. Características de los convertidores.

	Microcontrolador	Entrada	Salida	Alimentación	Otros componentes
DAC	DAC0808LCN	8 bits	0-15 V	+15 & -15 V	Amplificador Operacional
ADC	ATmega328P	0-5 V	10 bits	5 V	Arduino Uno

Por otro lado, la señal del voltaje óptimo que se obtiene del DAC pasa por una etapa de control para evitar ruidos y oscilaciones excesivas en el proceso de búsqueda del voltaje óptimo. Para esto, se selecciona un controlador PI cuyo circuito se presenta en la Figura 5. A fin de lograr una ganancia unitaria, es decir evitar amplificaciones de señales en el proceso, se colocaron resistencias del mismo valor en las diferentes secciones del controlador, quedando como posibilidad realizar un ajuste de ganancia con mediante las resistencias variables incorporadas en el amplificador inversor y el integrador.

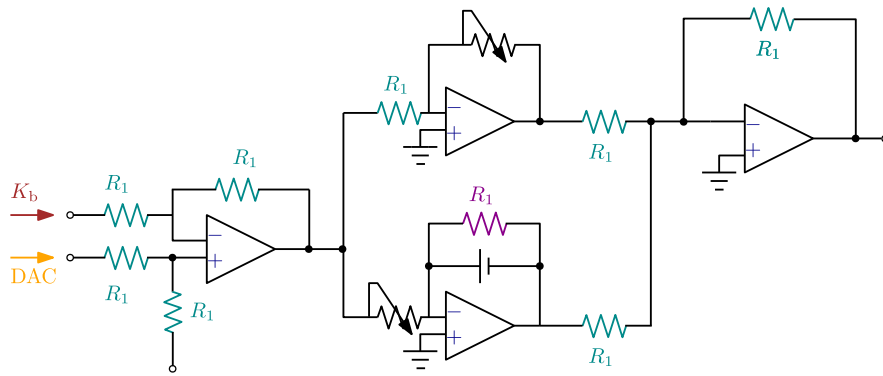


Figura 5. Circuito del Controlador PI implementado.

En la etapa de salida se utilizaron las dos fuentes controladas por voltaje (VCS) presentadas en la Tabla 3. La primera de ellas es una fuente auxiliar que tiene como propósito suministrar la corriente requerida para activar la fuente HP 6653A. Se encuentra conectada entre la salida del DAC y la segunda fuente VCS. Esta segunda fuente, al tener mayor capacidad se encuentra conectada a la carga y es la encargada de proporcionar el voltaje óptimo indicado por la tabla lookup en la Raspberry Pi.

Tabla 3. Características de las fuentes VCS.

	Voltaje Máx.	Corriente Máxima	Modo de operación	Ganancia
Instek PS-1830	5 V	3 A	Esclavo	Unitaria
HP 6653A	21 V	5 A	Control de Voltaje Externo	1 V – 7 V

Desarrollo: experimentos y mediciones

El emulador PV se implementa en el laboratorio de electrónica, donde se encuentran disponibles las fuentes VCS mencionadas en la sección anterior. A estas se conectaron el DAC, el ADC, los sensores de voltaje y corriente, el controlador PI y todos los componentes necesarios para el funcionamiento del sistema, los cuales se señalan a detalle en la Figura 6.

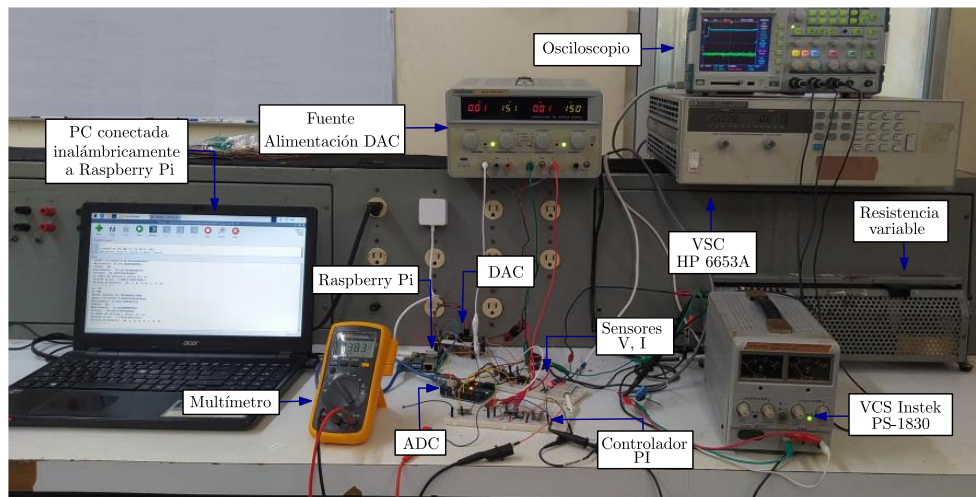


Figura 6. Partes del Emulador PV.

Parte importante del proceso es la medición de corriente y voltaje, ya que estas mediciones permiten calcular correctamente la resistencia de la carga. Debido a esto, se requieren mediciones confiables y aisladas que eviten distorsiones o ruido. Por lo cual, para medir el voltaje se emplea un convertidor aislado C.D./C.D. modelo PEM1-S12-S12-S. Este componente separa eléctricamente los lados de entrada y de salida del dispositivo, permitiendo que la corriente fluya directamente de la entrada a la salida de forma aislada. Una ventaja es que separa las partes del circuito que generan ruido de las sensibles fuentes VCS. Este convertidor soporta un voltaje de entrada de hasta 12 V, por lo que se conectaron 2 dispositivos en serie a fin de duplicar su voltaje máximo de entrada,

esto se muestra a detalle en la Figura 7. Este convertidor funciona como un sensor de voltaje y se conecta al convertidor ADC para enviar el valor medido a la Raspberry Pi. Sin embargo, debido a que el ADC trabaja con un voltaje de entrada máximo de 5 V, la salida del convertidor pasa por una etapa de acondicionamiento de señal que reduce el voltaje de 0-24 V a 0-5 V, la cual ya puede ser leída por el convertidor ADC.

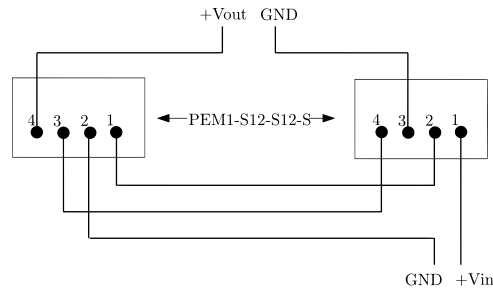


Figura 7. Diagrama circuito sensor voltaje.

Como carga del emulador se conecta una resistencia de potencia modelo “Elettronica Veneta” 500 W / 31 Ω / 4.02 A. Ya que, con base en su valor de resistencia será el voltaje óptimo que indique el emulador. De esta manera cada vez que se varía la carga, se encuentra un nuevo voltaje óptimo, permitiendo así, generar una serie de puntos capaz de ser graficada.

Resultados y discusión

La resistencia de carga “Elettronica Veneta” de 31 Ω se varía de manera que su voltaje oscila entre los 4 y 18 V. El sistema del emulador no permite voltajes menores a 4 V debido a que los sensores de voltaje PDS1-S12-S12-S no detectan dichos valores. La variación generada con ayuda de la resistencia de carga permite la generación de los puntos de las curvas características I-V y P-V. En la Figura 8 se muestran las curvas características generadas con el emulador PV propuesto.

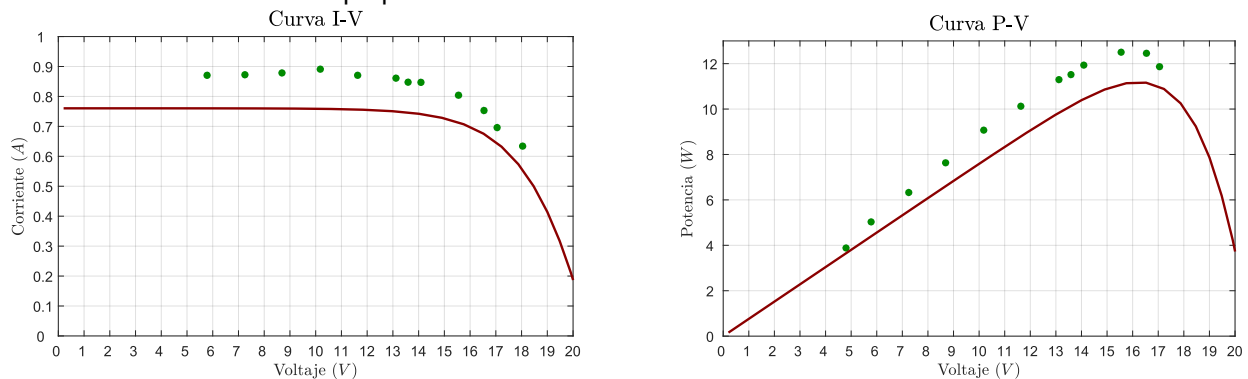


Figura 8. Curvas características del emulador PV propuesto con base en módulo PV solares RTC France.

Como se puede observar en la Figura 8, las curvas generadas con el emulador siguen un comportamiento normal al que las curvas características tienen. Cabe mencionar que el emulador a pesar de tener baja precisión tiene una correspondencia muy similar a la referencia (curva roja). También es apreciable que las curvas no llegan a sus intersecciones en los ejes, esto se debe a que estos valores se obtienen teniendo valores de 0 Ω para la intersección en el origen y valores muy altos de resistencia para la intersección en el eje del voltaje. No es posible con la resistencia de carga “Elettronica Veneta” llegar a valores mayores a 31 Ω que generen la intersección en el eje del voltaje. La intersección en el origen no se puede generar ya que los convertidores de potencia PEM1-S12-S12-S implementados como sensores de voltaje no admiten valores más bajos a los 4 V.

Asimismo, con un osciloscopio Tektronix TPS 2024 se registran las mediciones con la finalidad de monitorear el comportamiento de las variables eléctricas en el tiempo. En la Figura 9 la resistencia cambia de 7 a 14 Ω , por lo que se puede observar cómo aumentan las señales en cuanto se genera el cambio.

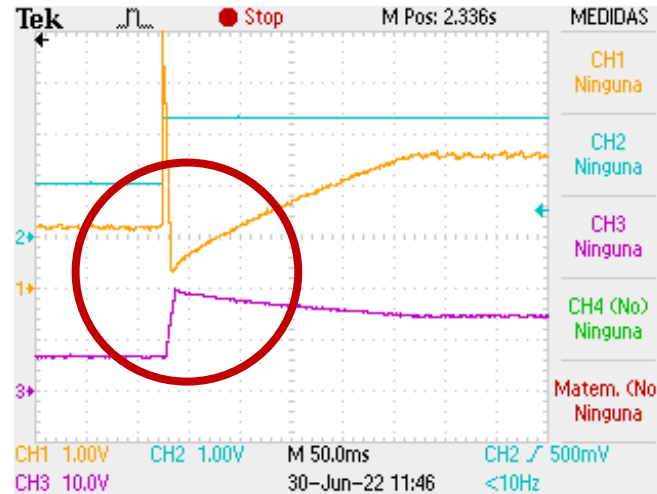


Figura 9. Gráfica generada en osciloscopio Tektronix TPS 2024 al variar la resistencia de manera positiva.

La línea azul (CH2) representa el voltaje de control procedente del DAC, es decir, el punto de referencia o señal de voltaje que se retroalimenta a la Raspberry. Esta señal es recta, lo que significa que sus cambios se reflejan a manera de escalón. La línea amarilla (CH1) representa el voltaje de la resistencia de carga, es decir el voltaje medido (V_{pvmed}), aquí el cambio es más notable a diferencia de la línea azul, ya que la variación de la resistencia de carga se refleja directamente en esta curva. La línea fucsia (CH3) representa el voltaje de salida del controlador PI, es decir el voltaje procedente de la Raspberry procesado.

Se puede observar en la Figura 9 cómo las curvas amarilla y fucsia reflejan el cambio en la resistencia de carga. En el círculo rojo se puntualiza el cambio de 7 a 14 Ω . Posterior a dicho cambio, es notable una zona constante, la cual representa la regulación de voltaje, es decir, el voltaje trata de mantenerse constante después de haber sido cambiada la resistencia de carga.

Por otra parte, en la Figura 10 se cambia la resistencia de 14 a 9 Ω , y se puede observar cómo el cambio negativo sí afecta de la misma manera las señales medidas. En el círculo verde se puntualiza el cambio de la resistencia de carga, y de igual manera que en la Figura 9, las gráficas después de mostrar el cambio se intentan mantener en el nuevo valor de voltaje.

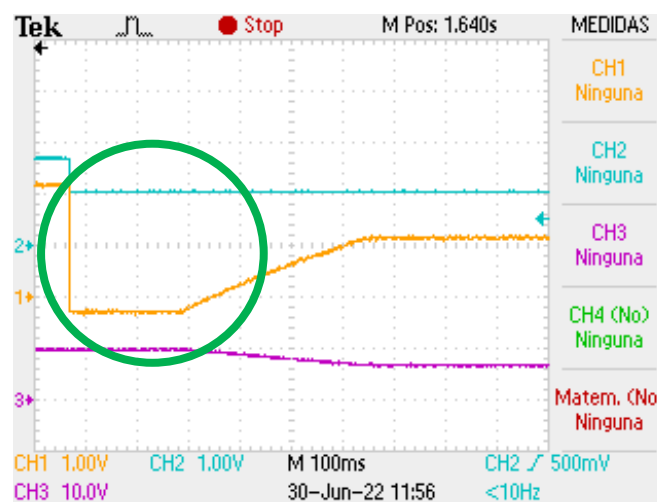


Figura 10. Gráfica generada en osciloscopio Tektronix TPS 2024 al variar la resistencia de manera negativa.

Trabajo a futuro

El emulador propuesto reproduce las curvas características de un módulo PV conformado por 36 celdas solares RTC France. Una mejora que se puede realizar al emulador sería abrir la posibilidad a la emulación de cualquier modelo de sistema PV, al igual que el desarrollo de una interfaz amigable con el usuario, donde este último tenga la opción de proporcionar al emulador las condiciones de operación del sistema PV.

Conclusiones

Recordando la situación climática actual en el mundo, es imprescindible contar con fuentes de energía renovable que no afecten el ambiente. La energía solar PV es una grandiosa alternativa puesto que aprovecha la energía prácticamente inagotable proveniente del Sol para generar energía eléctrica, con ayuda de los sistemas PV, compuestos por módulos PV transformadores de la irradiancia en electricidad.

El desarrollo de un emulador PV permite la evaluación previa a la puesta en marcha de un sistema PV. La gran ventaja de un emulador es que propicia el análisis de un sistema PV sin necesidad de exponerlo aún al desgaste provocado por la irradiancia y temperatura del ambiente. Asimismo, es posible probar la generación de energía de un sistema PV a distintas condiciones de operación. En el presente trabajo, se logra la implementación de un emulador PV basado en un módulo PV determinado, y de acuerdo con las gráficas generadas por el mismo, se autentica el comportamiento del emulador, puesto que este último tiene correspondencia a la referencia del módulo PV real. Con esto, se reafirma el papel tan importante que los emuladores tienen en el desarrollo de sistemas PV generadores de energía eléctrica.

Agradecimientos

Los autores agradecen al TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO por el apoyo otorgado para la realización de los proyectos "Implementación de convertidores de potencia para la emulación de fuente solar fotovoltaica." bajo el registro: 14632.22-P. y "Monitoreo y control IoT de convertidores de potencia para el acoplamiento de fuentes de energías renovables." bajo el registro: 13431.21-P.

Referencias

- [1] A. M. Mitrašinović, "Photovoltaics advancements for transition from renewable to clean energy," *Energy*, vol. 237, p. 121510, 2021.
- [2] A. M. Nassef , E. H. Houssein, B. E.-d. Helmy, A. Fathy, M. L. Alghaythi y H. Rezk, "Optimal reconfiguration strategy based on modified Runge Kutta optimizer to mitigate partial shading condition in photovoltaic systems," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 7242-7262, 2022.
- [3] M. Hayat, D. Ali, C. Monyake, L. Alagha y N. Ahmed, "Solar energy—A look into power generation, challenges, and a solar-powered future," *International Journal of Energy Research*, vol. 43, 2018.
- [4] P. Korasiak y J. Jaglarz, "A New Photovoltaic Emulator Designed for Testing Low-Power Inverters Connected to the LV Grid," *Energies*, vol. 15, nº 7, 2022.
- [5] O. Perpiñán Lamigueiro, "Energía Solar Fotovoltaica," Creative Commons, España, 2020.
- [6] R. Abbassi, A. Abbassi, M. Jemli y S. Chebbi, "Identification of unknown parameters of solar cell models: A comprehensive overview of available approaches," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 453-474, 2018.
- [7] C. Fărcaș, I. Ciocan y . A. Tulbure, "Solar Emulator for a Photovoltaic Module," *2018 IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, pp. 314-318, 2018.
- [8] J. Prasanth Ram , H. Manghani, D. S. Pillai, T. Sudhakar Babu, M. Miyatake y N. Rajasekar, "Analysis on solar PV emulators: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 149-160, 2018.

- [9] R. Ayop y C. Wei Tan, "A comprehensive review on photovoltaic emulator," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, pp. 430-452, 2017.
- [10] H. . A. Khawaldeh, M. Al-Soeidat, M. Farhangi, D. D.-C. Lu y L. Li, "Efficiency Improvement Scheme for PV Emulator Based on a Physical Equivalent PV-Cell Model," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 83929-83939, 2021.
- [11] R. Ayop y C. W. Tan, "Rapid Prototyping of Photovoltaic Emulator Using Buck Converter Based on Fast Convergence Resistance Feedback Method," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 34, nº 9, pp. 8715-8723, 2019.
- [12] A. Nazar Ali, K. Premkumar, M. Vishnupriya, B. Manikandan y T. Thamizhselvan, "Design and development of realistic PV emulator adaptable to the maximum power point tracking algorithm and battery charging controller," *Solar Energy*, vol. 220, pp. 473-490, 2021.
- [13] A. Zapién Castillo, J. Á. Zumaya García y P. M. García Vite, "Análisis, simulación y validación de modelos simplificados de sistemas solares fotovoltaicos," de *Lo multidisciplinario en el desarrollo y fortalecimiento de la innovación*, Academia Mexicana Multidisciplinaria, A. C., 2021, pp. 714-721.

Sensor de tipo óptico para medir inclinación

L. G. Granados Salazar ¹, G. Águila Rodríguez ¹, G. Lara Hernández¹, J.P. Rodríguez Jarquin ¹, J.J.A. Flores Cuautle ^{2*}

¹Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba,

² CONACYT-Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba
jflores_cuautle@hotmail.com

Área de participación: Ingeniería Electrónica

Resumen

En el área de la ingeniería, es importante monitorear diversas variables físicas, el valor de dichas variables debe de pasar por un proceso de conversión de la variable de interés a una variable electrónica de forma tal, que esta pueda ser cuantificada y procesada por la electrónica relacionada. En el caso de la inclinación puede ser de interés para diversos casos dentro de la ingeniería, que van desde evitar malfuncionamiento de maquinaria, hasta medir la posición y desplazamiento de miembros y articulaciones del ser humano para fines de rehabilitación. En este trabajo se presenta un sensor de inclinación de tipo óptico que presenta un rango de medición de -90 a 90 grados respecto a la vertical. El sensor desarrollado puede ser empleado en aplicaciones donde la medición de la inclinación es necesaria.

Palabras clave: *Inclinación, camino óptico, resolución*

Abstract

In the engineering area, it is essential to monitor various physical variables; the value of these variables must go through a conversion process from the variable of interest to an electronic variable so that it can be quantified and processed by electronics. In the case of inclination, this can be of interest for various cases within engineering, from preventing malfunctioning machinery to measuring the position and displacement of limbs and joints of the human being for rehabilitation purposes. This work uses an optical-type tilt sensor with a measurement range of -90 to 90 degrees concerning the vertical. The sensor obtained can be used in applications where tilt measurement is necessary.

Keywords: *Optical path, tilt, resolution*

Introducción

La inclinación se puede definir como el grado de desviación de un objeto respecto a la vertical, siendo esta última, la línea de acción de la gravedad trazada desde el objeto en cuestión hacia el centro de la tierra. En el área de la ingeniería medir la posición de un objeto respecto a la vertical es una de las mediciones más comunes. La determinación del grado de inclinación de un objeto puede ser empleada en una gran variedad de aplicaciones que van desde sistemas de posicionamiento y microposicionamiento en mecánica, hasta el monitoreo de rutinas de rehabilitación en ingeniería biomédica.

Los sensores de inclinación más antiguos están basados en el movimiento de un fluido dentro de una cavidad determinada cuya orientación es paralela a la superficie a la cual se desea determinar la inclinación, dicha cavidad es llenada parcialmente con un fluido, dejando espacio suficiente sin llenar con la finalidad de alojar una burbuja de aire en el fluido en cuestión (Figura 1), de esta forma, la diferencia de densidades entre el fluido y la burbuja de aire, harán que esta última flote, señalando la parte superior del sensor. Mediante marcas concéntricas hechas a intervalos regulares en la superficie del sensor, es posible determinar el grado de inclinación.

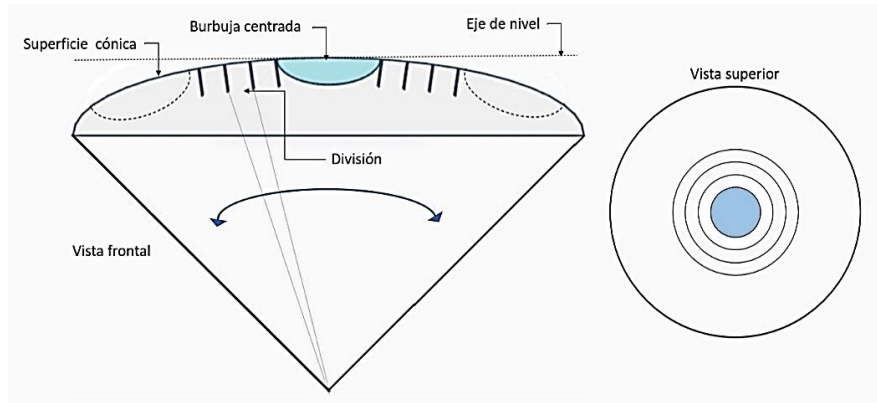


Figura 1 Esquema de funcionamiento del nivel de burbuja.

Una aproximación similar se ocupa en los sensores de inclinación de tipo electrónico, en los cuales se utiliza una gota de mercurio dentro de una cavidad de vidrio, la gota de mercurio puede desplazarse libremente dentro de la cavidad, sin embargo, la principal característica de este sensor, es que cuando el sensor se encuentra paralelo a la superficie que se desea medir, la gota de mercurio hace contacto físico y por lo tanto eléctrico con las dos terminales del sensor, por lo cual este sensor, actúa como un switch normalmente abierto y solo cierra el circuito cuando el sensor se encuentra totalmente horizontal, como se muestra en la Figura 2A, en tanto que la figura 2B muestra un diagrama esquemático de la forma de conectar este tipo de sensores.

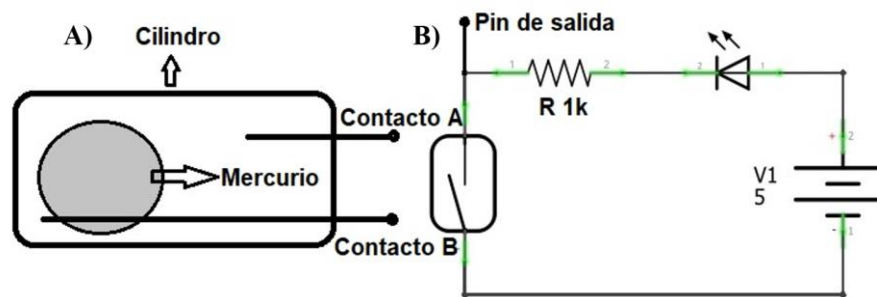


Figura 2 A) Esquema de sensor de inclinación electrónico (gota mercurio), B) circuito electrónico estándar empleado con este sensor.

Existen sensores de inclinación más modernos que incorporan tecnología mems, fluidos magnéticos, fibras ópticas [1-3], dichos sensores son empleados en diversos campos tales como detección de caídas, estimulación eléctrica, mouse de computadora [4-6], todos ellos presentan sus propias ventajas y desventajas [1], sin embargo, en este trabajo se presenta un sensor de fácil construcción que pueda ser implementado en una gran variedad de aplicaciones.

Metodología

Materiales

El sensor propuesto está formado por una fuente de luz azul dirigida hacia la parte inferior del sensor, la luz generada por esta fuente incide sobre dos fotorresistencias (LDR 5 mm modelo 5528) las cuales se ubican en extremos opuestos (ver Figura 3B) [7], se emplea una fuente de luz azul (490 nm) debido a que esta longitud de onda es cercana al pico de sensibilidad de las fotorresistencias utilizadas las cuales presentan mayor sensibilidad en la longitud de onda de 540 nm [8]. El sensor utiliza la gravedad para determinar generar un vector desde el centro geométrico del sensor hacia abajo en tanto que una tablilla bloquea parcialmente la luz. El conjunto de la tablilla con un contrapeso genera un péndulo mediante el cual se determina el vector de gravedad [9]. Cuando el sensor se encuentra en posición horizontal la cantidad de luz que incide en ambas fotorresistencias es mínima, en tanto que cualquier inclinación provoca una diferencia de luminosidad de una de las dos fotorresistencias respecto a la otra tal como se ilustra en la figura 3A y 3B.

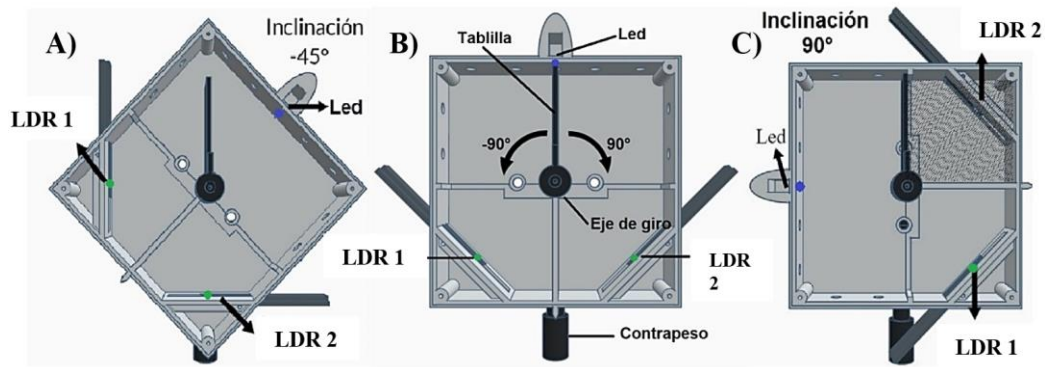


Figura 3 Esquema de funcionamiento del sensor de inclinación con diferentes grados de inclinación; A) -45° , B) 0° , C) 90° .

Con la finalidad de determinar la diferencia de voltaje, que se genera como producto de la diferente intensidad luminosa incidente en cada una de las fotorresistencias se empleó un puente de Wheatstone configurado para determinar dicho valor. Es necesario mencionar que el puente de Wheatstone está diseñado para acondicionar la señal de los LDR [10], sin embargo, su salida se encuentra en un rango de voltajes limitado, por lo cual se hace necesario el uso de un amplificador para escalar la señal de salida del puente y que al mismo tiempo funcione como interfaz entre el puente y un indicador visual.

El procesamiento de la señal llevada a cabo consta de la detección, acondicionamiento e indicador visual. La Figura 4 muestra un diagrama a bloques de las partes que componen la electrónica asociada al sensor de inclinación.

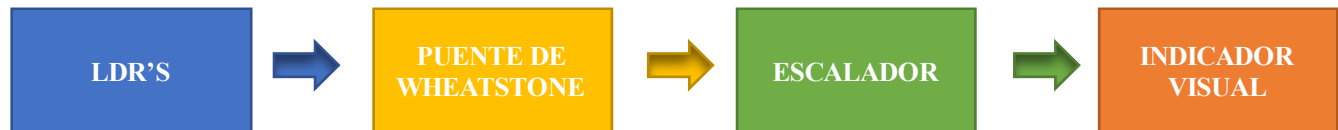


Figura 4 Diagrama a bloques del procesamiento de la señal del sensor de inclinación.

La figura 5 muestra el diagrama electrónico del circuito de acondicionamiento [11], donde se indica mediante líneas punteadas cada parte de la que esta constituido el circuito electrónico que acondiciona la señal proveniente de los LDR's.

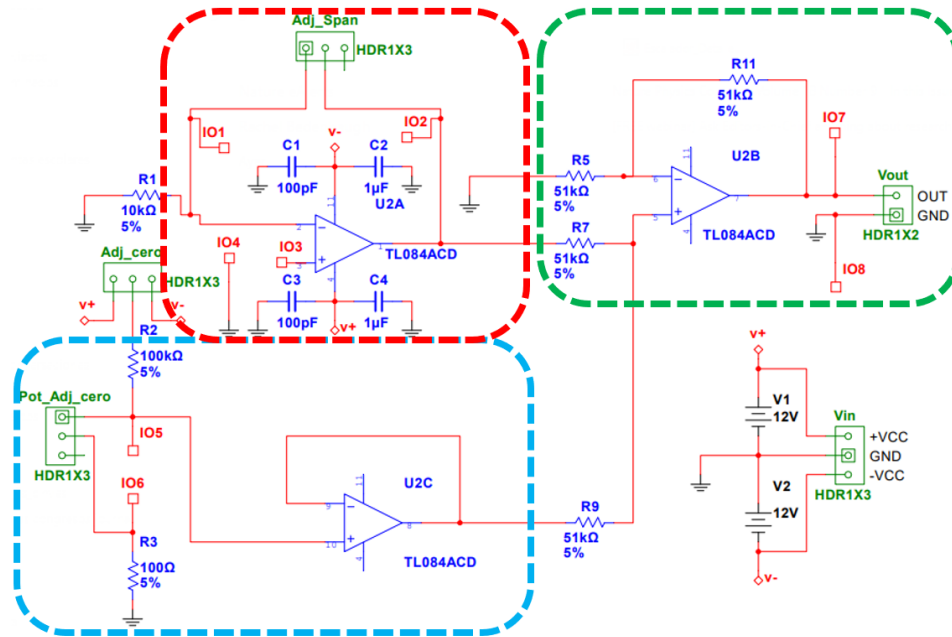


Figura 5 Diagrama esquemático del acondicionamiento de la señal del sensor, en línea punteada Roja, la sección de ajuste de rango de medición (span), en azul el ajuste a cero y en verde el escalador.

Calibración

Se realizó un ajuste iterativo, considerando una entrada de voltaje mínima de 0.3V con una salida de 1V, voltaje de entrada máxima de 0.8V con una salida de 4V, otra entrada mínima de 0.2V con una salida de 1V y una entrada máxima de 0.8V con salida de 5V; mediante la manipulación de los potenciómetros correspondientes al ajuste de Span y ajuste de cero. Bajo las condiciones anteriores, se realizaron simulaciones del comportamiento de la sensibilidad.

Indicador visual

Con la finalidad de tener un indicador visual se diseñó un vúmetro basado en el circuito integrado LM3914, el cual cuenta con 10 salidas las cuales se utilizan para conectar leds indicadores, las salidas del circuito integrado tienen dos posibles estados de salida, bajo y alto y se activan de acuerdo con el voltaje presente en la entrada. El voltaje de entrada debe de encontrarse en un intervalo de trabajo entre 0 y 5V. Debido al funcionamiento del circuito integrado, es necesario linealizar el voltaje con el cual se excita dicho integrado, para lo cual se determinó la función matemática que modela la sensibilidad del escalador.

Resultados

El comportamiento de la sensibilidad del escalador se muestra en la Figura 6. Los datos obtenidos de forma experimental se representan mediante cuadros negros sólidos, se aprecia que el voltaje de salida presenta un comportamiento de tipo exponencial, por lo cual para poder linealizar dicho voltaje se determinó la ecuación que modela el comportamiento del puente de Wheatstone (Ecuación 1).

$$V_{wh} = 6.31 - 2.67 \times e^{-(V_{in}/0.19)} \quad (1)$$

El modelo matemático de la ecuación 1 es mostrado en la Figura 6 mediante una línea sólida de color rojo, en tanto que los datos experimentales se muestran en la Figura 6 en forma de cuadros. A Partir de la ecuación 1 se puede obtener e el voltaje de saturación del puente de Wheatstone, el cual toma un valor de 6.31 Volts, V_{in} corresponde al voltaje de entrada.

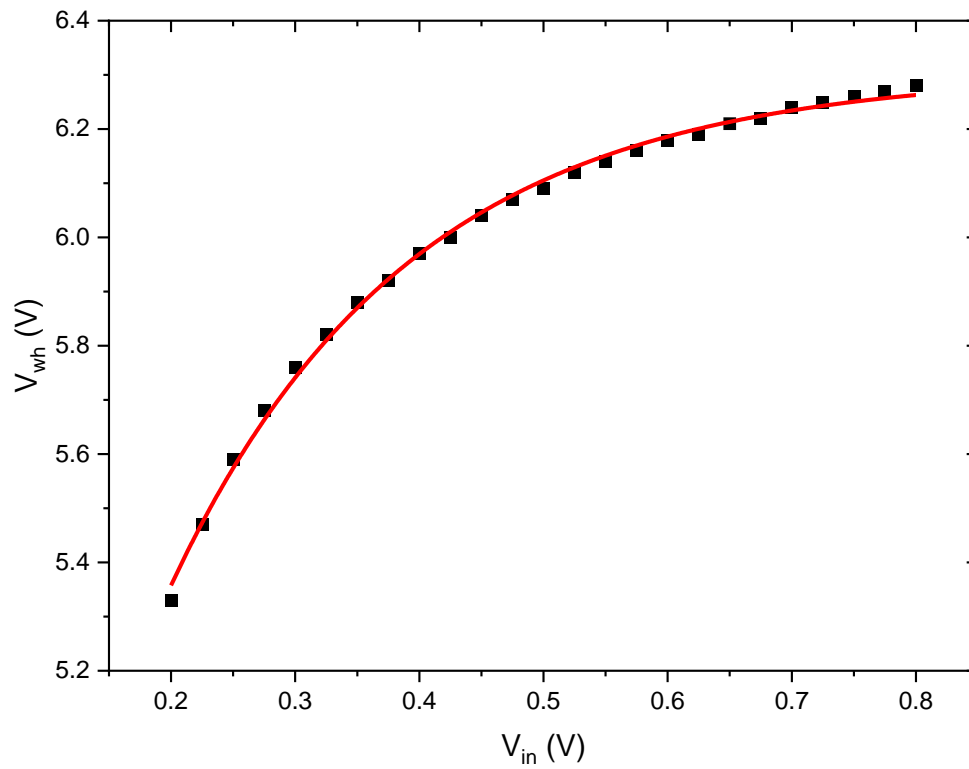


Figura 6 Sensibilidad del escalador, los cuadros negros representan los datos experimentales en tanto que la línea roja corresponde al modelo matemático (Ecuación 1) obtenida a partir de los datos experimentales.

El proceso de linealización se lleva a cabo mediante un circuito escalador donde se obtiene una salida de voltaje del sensor correspondiente a una función lineal (ver Figura 7) con el fin de obtener los datos de voltaje una manera fácil de interpretar, donde V_{esc} es el voltaje acondicionado de salida del sensor.

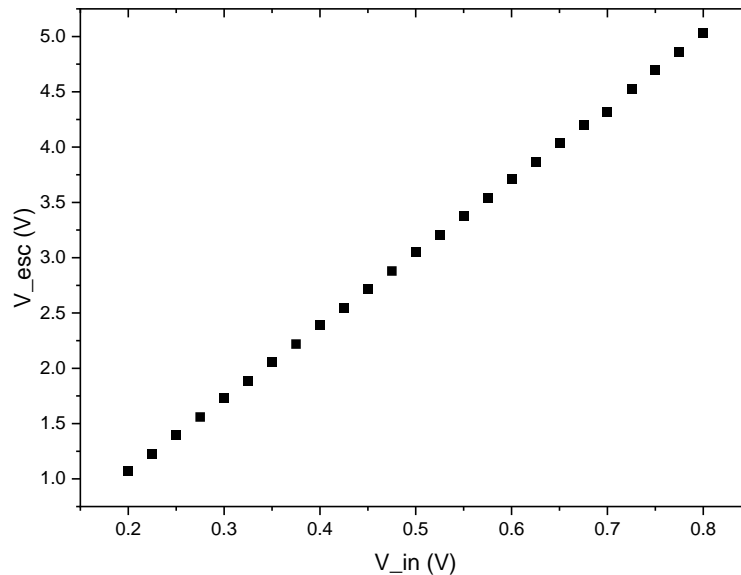


Figura 7 Voltaje de salida del sensor después de pasar por el proceso de linealización.

Como se hizo mención, el indicador visual es de tipo vúmetro con diez leds como indicadores y un voltaje de entrada en el rango de 0 a 5V procedentes del circuito escalador linealizado. Para dar una idea del indicador visual y su correspondiente placa de circuito impreso se presenta en la Figura 8 que muestra las conexiones del indicador visual

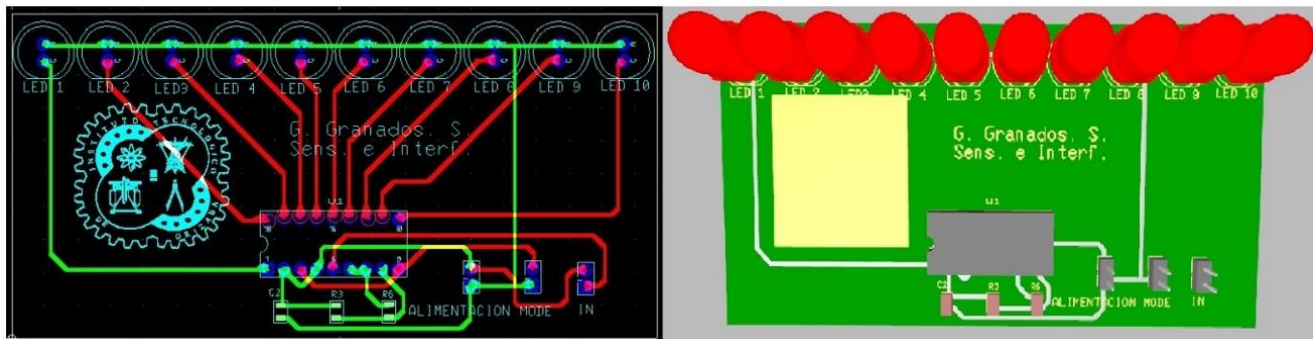


Figura 8 Diagrama esquemático y representación del indicador visual.

Discusión

En el sensor de inclinación, el efecto de péndulo es la parte principal de su funcionamiento, lo cual puede tener algunas desventajas, principalmente en la estabilidad del sensor cuando es empleado en mediciones que involucran transiciones de alta frecuencia, cuando la inclinación del sensor se ubica en frecuencias bajas, la estabilidad del sensor mejora considerablemente. Es necesario mencionar, que la frecuencia máxima de trabajo del sensor puede modificarse mediante un ajuste en el contrapeso o en su defecto mediante la longitud del contrapeso mismo, con lo cual, el sensor puede adaptarse a diversas aplicaciones. El uso de componentes plásticos en el diseño del sensor limita la posible interferencia electromagnética del sensor, sin embargo, este punto no fue comprobado totalmente, por lo que se deja como opción de futuros trabajos.

Trabajo a futuro

El sensor de inclinación responde de manera adecuada en el rango de medición, sin embargo, es necesario realizar pruebas de durabilidad, así como de estabilidad del sensor a largo plazo, finalmente se deja como trabajo futuro las pruebas en condiciones de humedad y temperatura superiores a las condiciones estándar.

Conclusiones

El sensor desarrollado es capaz de determinar inclinaciones en el intervalo de -90 a $+90$ grados respecto a la vertical, lo cual confirma que puede ser empleado en una gran variedad de aplicaciones. El uso de un indicador visual proporciona una estimación rápida del grado de inclinación, así como la dirección de este, estos datos suelen ser especialmente útiles en aquellas aplicaciones en las cuales es importante corregir rápidamente el grado de inclinación.

El empleo de una fuente de luz de color azul, así como el diseño del sensor limitan la posible interferencia luminosa de fuentes de luz ajenas al sensor.

Referencias

- [1] S. Łuczak and M. Ekwińska, "Electric-contact tilt sensors: a review," *Sensors*, vol. 21, no. 4, p. 1097, 2021.
- [2] R. Olaru and D. Dragoi, "Inductive tilt sensor with magnets and magnetic fluid," *Sensors and actuators A: Physical*, vol. 120, no. 2, pp. 424-428, 2005.
- [3] H. Jung, C. J. Kim, and S. H. Kong, "An optimized MEMS-based electrolytic tilt sensor," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 139, no. 1-2, pp. 23-30, 2007.
- [4] R. Dai, R. B. Stein, B. J. Andrews, K. B. James, and M. Wieler, "Application of tilt sensors in functional electrical stimulation," *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 63-72, 1996.
- [5] Y.-L. Chen, "Application of tilt sensors in human-computer mouse interface for people with disabilities," *IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 289-294, 2001.
- [6] T. Uchimura *et al.*, "Precaution and early warning of surface failure of slopes using tilt sensors," *Soils and Foundations*, vol. 55, no. 5, pp. 1086-1099, 2015.
- [7] D. E. Anchundia Padilla, "placa de prueba como recurso didáctico en las prácticas de circuito digitales de la carrera de tecnologías de la información de la Universidad Estatal del Sur de Manabí," Jipijapa. UNESUM, 2021.
- [8] Sparkfun. "CdS photoconductive cells."
<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/SEN-09088.pdf> (accessed 2022).
- [9] D. Halliday, R. Resnick, K. S. Krane, and L. Cicala, *Física*. CEA, 2003.
- [10] M. Coramik, "Calibration of an LDR-Lux meter using a smartphone," *Physics Education*, vol. 56, no. 3, p. 035009, 2021.
- [11] W. Jung, *Op Amp applications handbook*. Newnes, 2005.

Interfaz gráfica para un sistema de ablación

I. N. Flores Solís¹, L. C. Caicedo Rosero¹, C. J. Trujillo Romero², O. O. Sandoval González¹, J. J. A. Flores Cuautle³

¹Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba

²Instituto Nacional de Rehabilitación, División de Investigación en Ingeniería Médica

³CONACYT-Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba
jflores_cuautle@hotmail.com

Área de participación: Ingeniería Electrónica

Resumen

Se diseñó una interfaz gráfica con Python y la plataforma Qt Designer, dirigida a la aplicación de la ablación térmica donde el monitoreo y control de la temperatura es indispensable para determinar la afectación a los tejidos. Se describe la lógica de diseño y los pasos sucesivos en la plataforma para facilitar usos posteriores y facilitar la reproducibilidad del diseño. Para comprobar el funcionamiento de la interfaz, se desarrolló un circuito electrónico que permite obtener la temperatura de tres sensores, correspondientes a las señales de entrada de la interfaz, para representar la señal de salida se utiliza un LED que irá a la antena de ablación. Las señales son ajustadas para obtener los valores de temperatura en escalas Celsius, Fahrenheit y Kelvin para cada elemento de medición. Adicionalmente se genera un archivo TXT de los datos obtenidos durante la ejecución de la aplicación.

Palabras clave: interfaz Python, QtDesigner, ablación térmica.

Abstract

A graphical interface was designed with Python and the Qt Designer platform, aimed at the application of thermal ablation where temperature monitoring and control is essential to determine tissue involvement. The design logic and the successive steps in the platform are described to facilitate later uses and facilitate the reproducibility of the design. To check the operation of the interface, an electronic circuit was developed that allows obtaining the temperature of three sensors, corresponding to the input signals of the interface, to represent the output signal an LED is used that will go to the ablation antenna. The signals are adjusted to obtain temperature values in Celsius, Fahrenheit and Kelvin scales for each measurement element. Additionally, a TXT file of the data obtained during the execution of the application is generated.

Key words: Python interface, QtDesigner, thermal ablation.

Introducción

El cáncer es considerado una de las principales causas de muerte a nivel mundial, por lo que se han desarrollado diferentes tipos de tratamientos, dentro de los cuales existen los denominados métodos mínimamente invasivos que hacen uso de radiofrecuencias y microondas como la ablación térmica [1].

La ablación térmica consiste en la generación de ondas electromagnéticas las cuales generan un incremento de temperatura focalizado, que por control de tiempo y potencia genera la eliminación de células dañadas. En ablación térmica es necesario monitorear la temperatura de la antena, del tejido circundante y del ambiente circundante lejano.

Se reportan pocos diseños o herramientas gráficas en este campo de estudio, algunos en equipos con restricciones de dominio de la propiedad intelectual [2]–[6], por lo que no pueden ser usados para el monitoreo y

control de la temperatura en los procesos de ablación térmica, por esta razón se diseñó una interfaz gráfica mediante la cual se realiza el monitoreo de las temperaturas en las diferentes zonas [1], que genera un archivo de datos por sesión de trabajo en texto plano (TXT) de las temperaturas, que se representan en una interfaz de fácil manejo e interpretación, para permitir un análisis posterior. Se utiliza software libre para facilitar las mejoras y alcances posteriores, pues la interfaz puede ser adaptada con pocos cambios en su código.

Para probar el correcto funcionamiento de la interfaz se diseñó un hardware prototipo que simula la temperatura de las diferentes zonas de estudio, el cual se representa en la *Figura 1*. Los componentes y características se especifican en la sección de Hardware de la Metodología.

Metodología

Hardware

El sensor LM35 es un circuito electrónico que de acuerdo a un valor de temperatura genera una salida analógica [7], [8]. La tarjeta ARDUINO UNO funciona como microcontrolador de nuestra interfaz. Con el cual se obtiene el monitoreo de señales analógicas de entrada y salida de nuestra interfaz y el LED nos permitirá observar las activaciones de la señal de salida dentro de la interfaz [9]–[11].

El hardware consiste en un arreglo que utiliza las salidas de voltaje de la placa Arduino, 5v y GND para alimentar los sensores de temperatura, la salida del sensor de temperatura se conecta con la entrada analógica del Arduino [7], [10], tal como se indica en la *Figura 1*. Para mantener la lectura adecuada de la señal en el Arduino se colocó un capacitor en cada pin de salida del sensor para las entradas analógicas A0, A1, A2 [12] para estabilizar la señal. La señal digital de salida D5 en Arduino representa la función de activación de la antena en la interfaz [10].

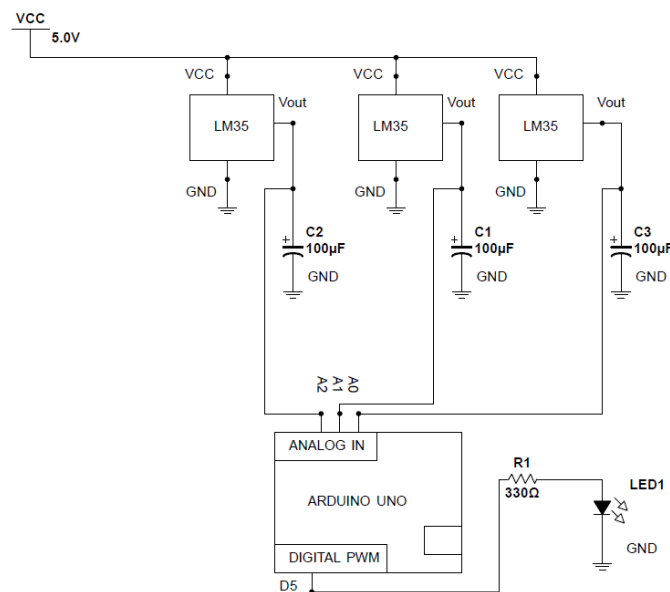


Figura 1. Esquema de montaje del hardware utilizado para simular las entradas de la interfaz.

Descripción de la plataforma utilizada

La interfaz gráfica fue diseñada en la plataforma Qt Designer 5.11.1 [13], en donde se generan los elementos y la ventana base que servirá como medio de interacción con el usuario. Para la lógica de operación se utilizó la plataforma Pycharm community 2020.3, complementando con el intérprete Python 3.10 para construir el cuerpo y lógica de operación de la interfaz [14], [15]. El diagrama de bloques de la lógica de programación empleada en el desarrollo de la interfaz se muestra en la *Figura 2*, cada subrutina representa una función determinada dentro de la interfaz principal.

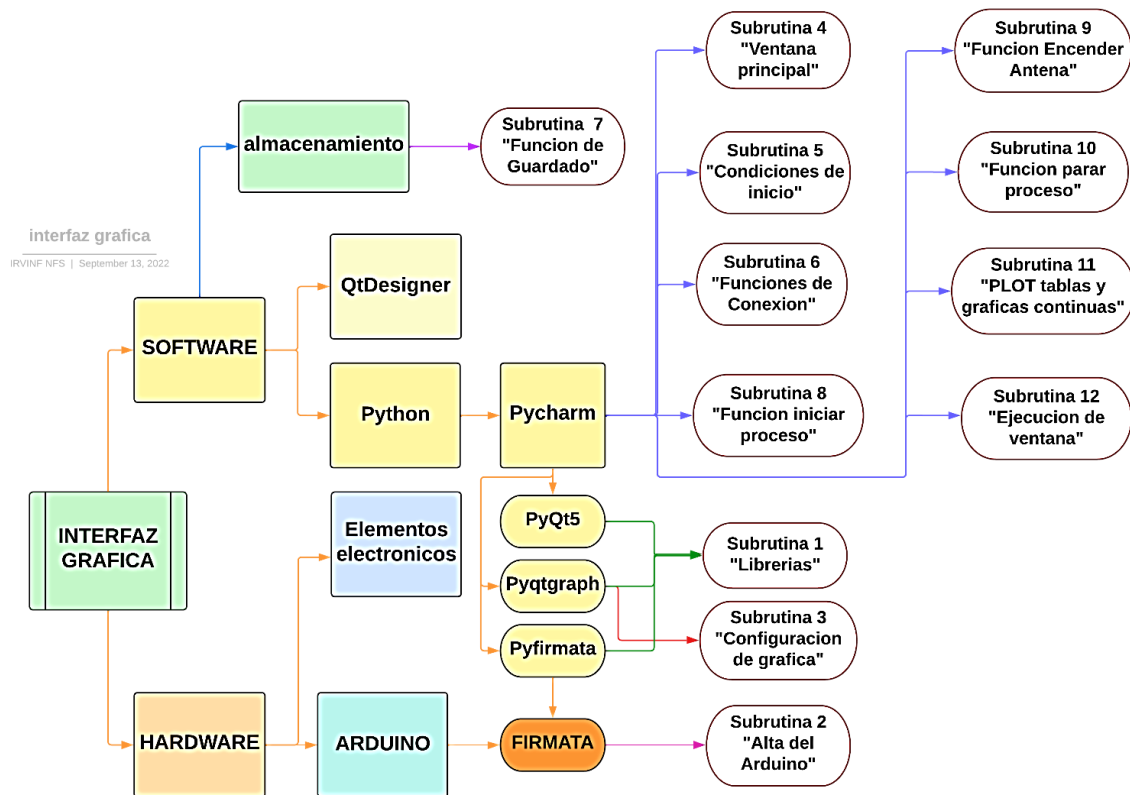


Figura 2. Diagrama de bloques del diseño de la interfaz

Lógica de trabajo implementada

Para el diseño de la interfaz se considera una ventana general, con un panel para visualización gráfica de las tres señales analógicas, que corresponden a la temperatura en las diferentes zonas a monitorear. También los botones de interacción con el usuario:

- botón on/off para encender o apagar la señal de salida (denominada antena)
- botón de inicio y botón de paro de proceso y
- botón para generar el archivo.

No se busca saturar la interfaz, por lo tanto, se incluyen los componentes necesarios sin recurrir a objetos redundantes, esto buscando su funcionalidad para usos posteriores más específicos. Se sigue el diagrama de bloques descrito en la *Figura 2* buscando enlazar cada componente. La interfaz gráfica se diseñó en Qt Designer [16], con un objeto de la clase Q Dialog, para colocar los elementos que estarán dentro de la interfaz, tal como se muestra en la *Figura 3* y con los cuales el usuario realizará la interacción con la interfaz, incluyendo los componentes de la interfaz requeridos.

Para integrar los elementos dentro la interfaz gráfica se guarda el archivo con extensión *.ui*, requerido para su posterior conversión a archivo *.py* dentro de Pycharm. El procedimiento se esquematiza en la *Figura 4*, de esta manera se obtiene un archivo *.py* el cual contiene los elementos de la interfaz gráfica para que puedan ser manipulados mediante código Python.

Object	Class
Dialog	QDialog
GRAFICA	PlotWidget
LA0	QLabel
LA1	QLabel
LBT	QLabel
LBT2	QLabel
LCDAM	QLCDNumber
LCDP	QLCDNumber
LITO	QLabel
LMIE	QLabel
LPB1	QLabel
LPBT	QLabel
LTMP	QLabel

Figura 3. Objetos de la interfaz (Object inspector, en Qt Designer)

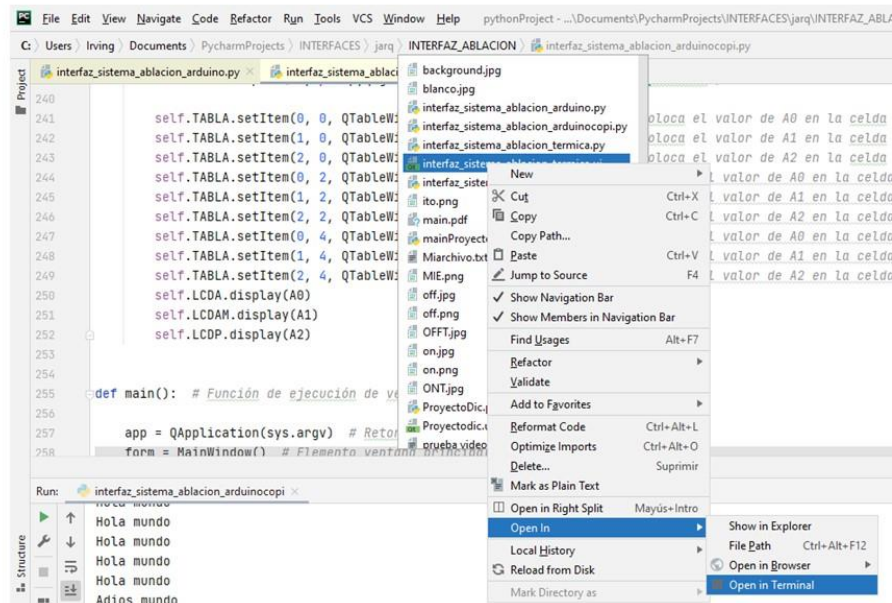


Figura 4. Procedimiento de Conversión de archivo .ui a .py en PyCharm.

Adaptación de la tarjeta Arduino

Se requiere descargar a la tarjeta Arduino Uno el archivo tipo *firmata*, denominado “*StandardFirmata*”, para acceder a las funciones de Arduino mediante Python, lo cual se realiza en el IDE de Arduino mediante el puerto COM con el cable de transmisión de datos conectado al computador. El procedimiento se indica en la *Figura 5* [17].

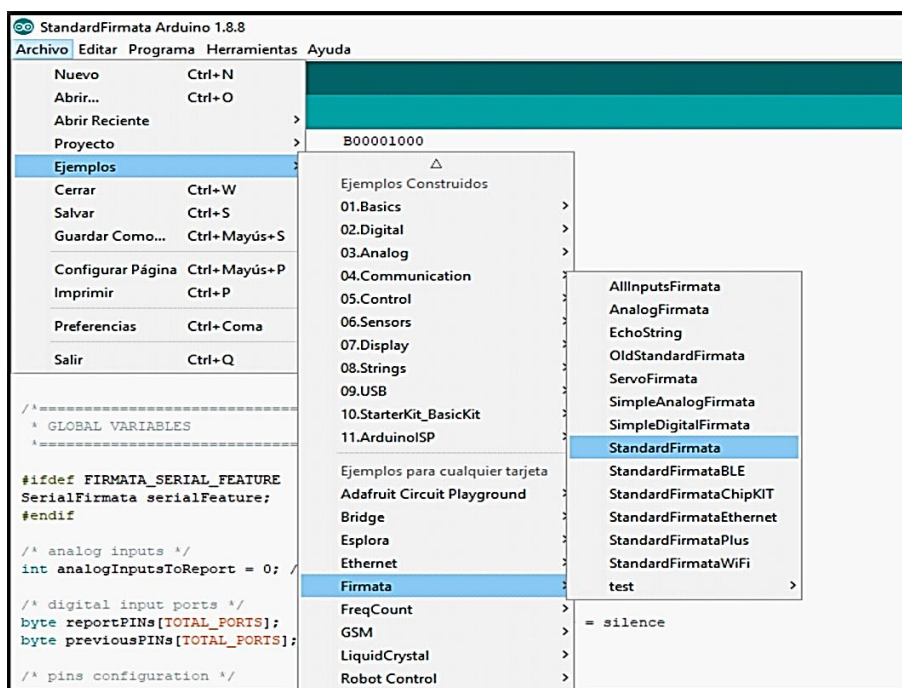


Figura 5. Descarga del archivo firmata en IDE Arduino.

Código en Python para ejecutar interfaz

Mediante código Python se ejecuta la interfaz, la lógica y se controla la tarjeta Arduino. El código se crea con diferentes secciones organizadas para obtener fluidez de trabajo. Se utilizó una subrutina para activar las salidas y entradas del Arduino y ajustes de comunicación (subrutina 3 en la *Figura 2*). Otro segmento de código se destinó a la configuración inicial de la gráfica, así como la importación de la interfaz Qt (subrutina 4 en la *Figura 2*).

Ventana principal

Mediante el código Python de la ventana principal de la interfaz, se declara las funciones principales y las condiciones de inicio del programa de la interfaz.

Funciones de ejecución

Las funciones de ejecución son:

- Función start para determinar el inicio del contador del ciclo de ejecución dentro de la interfaz y se conecta con la función de arranque
- Función stop para detener el contador y el ciclo de trabajo del programa [7, 8].

Ajuste del dispositivo LM35

Se requiere el ajuste de los datos de la señal para que puedan ser presentados en la interfaz, para ello se utilizó la hoja de datos del sensor LM35, de Texas Instrument [8]. Este sensor tiene un rango de medición de -55°C a 150°C , con una sensibilidad de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$, utilizando como referencia que $10\text{mV}/^{\circ}\text{C} = 0.01$ [8], [18], [19] se realiza la conversión de ajuste según la ecuación (1):

$$\text{Temperatura} = \frac{\left(\frac{\text{valor} \times 5}{1024}\right)}{0.01} = \frac{\text{valor} \times 5}{1024 \times 0.01} \quad (1)$$

Sin embargo, la librería de firmata con Python y Arduino, facilita el proceso siendo innecesario realizar la conversión del valor a 1024. Por lo tanto, la fórmula de conversión queda como se especifica en la ecuación (2):

$$\text{Temperatura} = \text{valor} \times 5 \times 100 = (\text{valor} \times 500) \quad (2)$$

Almacenamiento de los datos

Con la función BOTON se inicia la interfaz, una función, la función GUARDAR, que inicia el almacenamiento de los datos en un archivo de texto plano (TXT), abriendo un cuadro de diálogo para almacenar el archivo específica permite guardar los valores obtenidos en las diferentes escalas de temperatura de la interfaz y que se visualizan datos en la tabla. Las propiedades de la tabla y de la gráfica se engloban. Esta función se activa con el botón “**Iniciar Proceso**” y así la interfaz empieza a obtener valores de temperatura.

La función BOTÓN activar / desactivar una señal digital de salida que permite conectar la antena. Se utilizó un LED genérico en la salida digital 5 en el hardware, en tanto que una función de apagado desactiva la interfaz, correspondiente al botón “**Parar Proceso**”.

Función de ejecución para tablas y graficas

Para llevar a cabo la captura de los datos provenientes de los sensores, se utilizó una subrutina denominada PLOT, que permite graficar los valores de la tabla y el acondicionamiento de las señales de temperatura, mediante una función para mostrar una ventana y mantenerla en ejecución en un ciclo continuo hasta que el programa sea detenido mediante la interfaz, con el botón PARA PROCESO.

Operación de la interfaz

Para iniciar la operación de la interfaz se acciona el botón INICIAR PROCESO el cual arranca el programa, permite mostrar los valores de temperatura en la gráfica y en la tabla, habilita las funciones de guardado y de encendido de la antena; para detectar su funcionamiento se incluyó un indicador de encendido (círculo verde con la leyenda ENCENDIDO). Para detener la operación se debe presionar el botón PARAR PROCESO.

Posteriormente se enciende la antena por medio del botón ENCENDER ANTENA y luego se activa el botón de GENERAR ARCHIVO. Para detectar la señal de la antena se incluyó otro indicador de encendido (cuadro de esquinas redondeadas de color rojo).

Resultados y discusión

Se logró obtener la medición de tres temperaturas diferentes de forma simultánea mediante una interfaz gráfica, *Figura 6*, representando los valores de temperatura al igual que sus equivalencias en diferentes escalas térmicas (recuadro azul). Se logró trabajar con los valores y señales obtenidos de los elementos del hardware, validando su funcionamiento.

Se comprobó la visualización de datos y representación gráfica de los valores obtenidos en tiempo real permitiendo el monitoreo del sistema. La interfaz gráfica completa se presenta en la *Figura 6*. Se observan un área destinada a los controles de la propia interfaz (recuadro verde), un área de visualización gráfica de datos (recuadro café), así como etiquetas con los valores de temperatura acondicionados para las temperaturas adquiridas mediante el hardware.

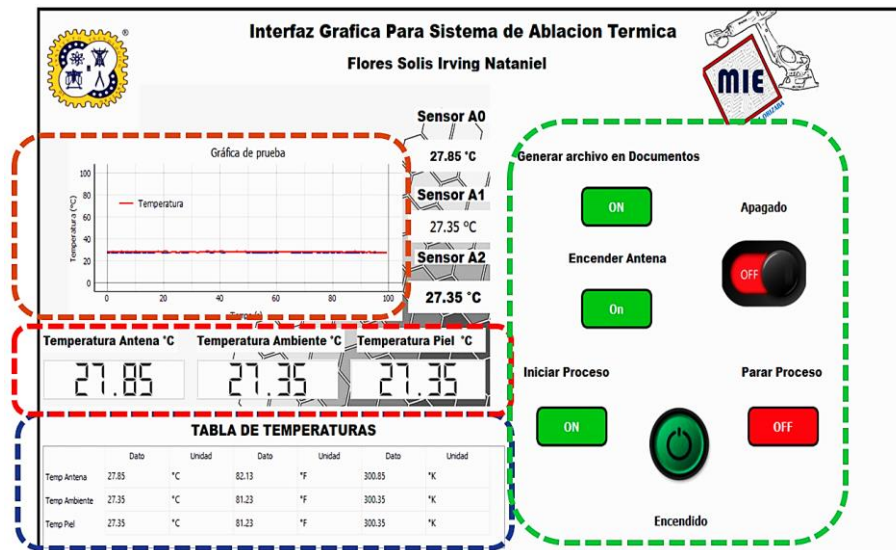


Figura 6. Interfaz gráfica completa, el área verde representa los controles de la interfaz, la zona de visualización gráfica (café), y una tabla de conversión de datos (azul)

La creación del registro con los valores de las tablas, se presenta la *Figura 7*, donde se aprecia el cuadro de dialogo de *Guardado* generado mediante la activación del botón “**Generar archivo**”. Se almacenan diferentes archivos *txt* a los que se puede tener acceso y manipular con el objetivo de beneficiar el estudio y análisis de las técnicas y procesos de ablación térmica.

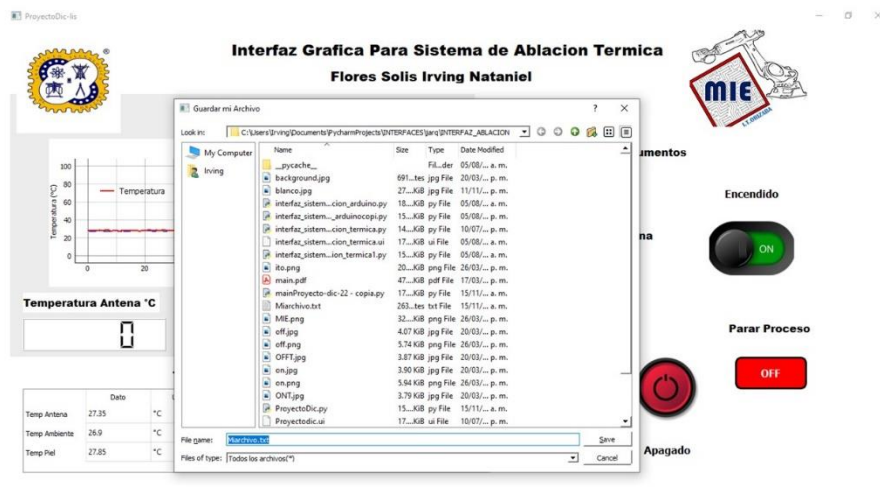


Figura 7. Función de guardado y generación de archivo

Conclusiones

La implementación de esta interfaz permite la interacción con el usuario de manera natural e intuitiva. La agrupación de los controles contribuye a la posterior utilización de la interfaz, en tanto que la visualización de las diferentes temperaturas en las escalas de temperatura más comunes permite la compatibilidad de esta interfaz con los sistemas métricos más comunes sin tener que llevar a cabo conversiones o equivalencias de unidades de temperatura.

El uso de Python como lenguaje de programación contribuye a la portabilidad de la interfaz para otro tipo de sistemas similares, así como la multiplicidad funcional de este lenguaje permite un análisis posterior flexible y amplio. La respuesta de la interfaz con la ejecución del software en interacción con el hardware fue buena, permitiendo la medida en tiempo real de la simulación del efecto térmico de la ablación térmica.

Se realizaron procesos de experimentación con el software utilizado, realizando la integración de los valores obtenidos y graficándolos, con un tiempo de retraso mínimo (< 1s). Se genera un registro que se puede almacenar para mejorar el proceso de trabajo en la aplicación de sistemas de ablación térmica.

Referencias

- [1] C. J. Trujillo-Romero, G. Rico-Martínez, y J. Gutiérrez-Martínez, "Thermal ablation: an alternative to bone cancer", *Investig. En Discapac.*, vol. 7, n.º 1, pp. 35-46, abr. 2020, Accedido: 10 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenI.cgi?IDARTICULO=92859>
- [2] S. T. C. Wong, Ed., *Medical Image Databases*. Boston, MA: Springer US, 1998. doi: 10.1007/978-1-4615-5553-7.
- [3] Y. Santafé-Ramón, W. Gamboa-Contreras, Y. Gamboa-Contreras, y O. J. Velazco-Sánchez, "Diseño y Construcción de un Estetoscopio Digital Inalámbrico", en *V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011 May 16-21, 2011, Habana, Cuba*, Berlin, Heidelberg, 2013, pp. 686-689. doi: 10.1007/978-3-642-21198-0_175.
- [4] A. Swarnambiga, Ed., *Medical Image Processing for Improved Clinical Diagnosis*: IGI Global, 2019. doi: 10.4018/978-1-5225-5876-7.
- [5] R. L. Corral-Bustamante, A. Aragonéz-Aguirre, J. U. Acosta-Arévalo, I. E. Parra-Domínguez, y J. Lam-Bencomo, "Prototipo Para Terapia o Ablación de Cáncer Mediante Microondas", p. 6, 2019.
- [6] J. Mendez Maria, C. J. Trujillo Romero, y J. de J. A. Flores Cuautle, "Sistema estereotáctico para posicionamiento de antenas de ablación", Thesis, 2021. Accedido: 10 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorios.orizaba.tecnm.mx:8080/xmlui/handle/123456789/649>
- [7] Tiger Electronic Co.,Ltd, "LM35 Datasheet, ALLDATASHEET", 2022. <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/1188696/TGS/LM35.html> (accedido 10 de septiembre de 2022).
- [8] Texas Instrument Inc., "LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors Datasheet (Rev. H)", diciembre de 2017. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf> (accedido 10 de septiembre de 2022).
- [9] K. Gray, *Arduino: The Ultimate Beginners Guide To Arduino - Learn How To Get Started With Arduino Programming, Projects And More! | Kevin Gray | download*. Independent Publishing, 2016.
- [10] Arduino, "Arduino® UNO R3 datasheet". 2022. Accedido: 10 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://docs.arduino.cc/static/dd48b0920508cde887b36d3e5dad2a76/A000066-datasheet.pdf>
- [11] Arduino, "UNO R3 | Arduino Documentation". <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3> (accedido 10 de septiembre de 2022).
- [12] Vishay Company, "Aluminum Electrolytic Capacitors. Radial Semi-Professional", *036 RSP. Vishay BCcomponents*, 15 de julio de 2016. <https://www.vishay.com/docs/28312/036rsp.pdf> (accedido 10 de septiembre de 2022).
- [13] The Qt Company, "Qt Designer Manual", *Qt Designer Manual*, 2022. <https://doc.qt.io/qt-6/qt designer-manual.html> (accedido 10 de septiembre de 2022).
- [14] Python Software Foundation, "The Python Language Reference — Python 3.10.7 documentation", 10 de septiembre de 2022. <https://docs.python.org/3/reference/> (accedido 10 de septiembre de 2022).
- [15] JetBrains s.r.o., "PyCharm Guide. Well-organized collection of learning resources for PyCharm", 2022. <https://www.jetbrains.com/pycharm/guide/> (accedido 10 de septiembre de 2022).
- [16] R. Rischpater, *Application development with Qt creator: design and build dazzling cross-platform applications using Qt and Qt Quick*, Second edition. Birmingham Mumbai: Packt Publishing, 2014.
- [17] P. Desai, *Python programming for Arduino: develop practical Internet of things prototypes and applications with Arduino and Python*. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2015.
- [18] N. Martins, R. Cordeiro, y M. Loureiro, "Um programa em python para experimentos de Física automatizados com o Arduino", *SIMPÓSIO Nac. ENSINO FÍSICA XXIII*, pp. 1-8, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://www.posensinofisica.ufv.br/wp-content/uploads/2012/02/T0362-1.pdf>
- [19] Fasterlearner y Autodesk, Inc, "Control your Arduino with Python's Pyfirmata Library", *Instructables. Control Your Arduino With Python's Pyfirmata Library*, enero de 2022. <https://www.instructables.com/Control-Your-Arduino-With-Pythons-Pyfirmata-Librar/> (accedido 10 de septiembre de 2022).

INVESTIGACIÓN EDUCATIVA

- ED01 **Herramientas tecnológicas y su impacto en la interacción alumno-maestro: Breve análisis** ED-3
Gaspar Sánchez García, Anabel Jiménez Ortiz.
- ED02 **Resiliencia en estudiantes de Ingeniería Industrial del TecNM Tierra Blanca en la nueva normalidad postCOVID-19** ED-11
Liliana Fuentes Rosas, María Teresa Torres López, Julieta Hernández Ramírez, Ena Erandy Díaz López
- ED03 **Identificación de competencias básicas en telecomunicaciones que requieren fortalecimiento, para Ingeniería Informática del TecNM Teziutlán** ED-20
Adriana Pérez López, Marco Antonio Aguilar Cortés, Jacobo Robles Calderón.
- ED04 **Proyecto Capstone para la formación de competencias del Ingeniero Informático en TecNM/ITSLP: Caso Om@rxel** ED-30
María Guadalupe Hernández Sierra, Reynalda González Álvarez, Dubelza Beatriz Oliva Garza, Antonio Mayer Sánchez, Axel Eduardo Esparza García.
- ED05 **Estudio de la modalidad virtual y su impacto en una comunidad universitaria por la pandemia** ED-39
Yesenia Santana Cardoso, Flor Yesenia García Hernández, Anselmo Tecolapa Crescencio, Jorge Luis Pintor Flores.
- ED06 **Deserción Escolar durante la COVID-19 en la carrera de Contador Público del TecNM Campus Chilpancingo** ED-47
Axel Valdez Morales, Margot Olimpia Espinobarros Salinas, Erika Oropeza Bruno, Marvin Ríos Hidalgo, Paula Adriana Leyva Alarcón.
- ED07 **Diseño de objetos de aprendizaje para la materia de Arquitectura de Computadoras en plataforma Moodle.** ED-57
Ma. Elena Montes Almanza, María Luisa Montes Almanza, Ma. del Consuelo Frías, Maldonado Pedro Celestino Ramírez, Laura Lucía Fernández Romero.
- ED08 **Retos y beneficios al implementar la mentoría en la carrera de ingeniería en sistemas computacionales** ED-67
Silvia Jiménez Hernández, María Guadalupe Balderrábano Saucedo, Christian Adán Santillán Silva
- ED09 **Validez y Confiabilidad de un Instrumento Adaptado para medir el Tecnoestrés en Docentes** ED-75
Nelly Guadalupe Acosta Luna, Margarita Dávila Hernández, Matías Vargas Urbina, Anabel Martínez Guzmán, Karla Fernanda Serrato Guarneros.
- ED10 **Identificación de estrategias en el aprendizaje de fundamentos de programación** ED-84
Reyna García Belmont, Ofelia Verónica Méndez Lemus, María del Consuelo Puente Pérez, Erika Concepción Calderón García y Marcela Rodríguez López.
- ED11 **Análisis del retorno a clases presenciales en el TecNM Campus Chilpancingo** ED-93
Erika Oropeza Bruno, Gloria Muñoz Atilano, María de Lourdes Martínez Zamudio, Margot Olimpia Espinobarros Salinas, Víctor Castro Chino.
- ED12 **Actitudes y competencias entre docentes universitarios: autopercepción comparada en el contexto pandémico** ED-103
Ivette Esperanza Corzas García, María Esther Chamosa Sandoval.
- ED13 **Aplicación didáctica para la gestión del estándar IEEE 830-1998 en la asignatura ingeniería de software** ED-111
Concepción Nava Arteaga, Patricia Quitl González, Miguel Ángel Herrera Hernández, Mónica Ruíz Martínez, Ricardo Aguilera Chiguils.

- ED14 **Impacto del diagnóstico de capacitación en docentes de IGE TecNM-Tecnológico de Orizaba** ED-120
José Luis Bolaños Reynoso, María Elena Zepahua Neri, Eusebio Bolaños Reynoso, Alejandra Aguilar Aquino, Michelle Bolaños Rivera.
- ED15 **Diseño experimental de un arreglo fotovoltaico didáctico reconfigurable** ED-129
Marco Antonio Zúñiga Reyes, César Octavio Llaven Gallegos, Ana Lilia de Jesús López Pérez, Cesar Amin de Coss Cruz, Johanna Resnick Freyre.
- ED16 **Proyecto integrador para programación Web, una estrategia del pensamiento creativo** ED-136
Patricia Quitl González, Concepción Nava Arteaga, Miguel Ángel Herrera Hernández, Thelma Leonor Estévez Dorantes, Karen Bozziere Solís.
- ED17 **Aprendizaje basado en proyectos para la asignatura de reactores** ED-146
Francisco Caballero, Alexis Marco Antonio Romero Pérez, Miguel Ángel Pérez Fajardo, Jorge Alberto Granados Olvera, Gabriel Ramírez Dámaso.
- ED18 **Las representaciones sociales como estrategia de aprendizaje en los alumnos de Ingeniería en Gestión Empresarial** ED-156
Javier Martín García Mejía, Irais Roxana Mendoza Sánchez, Ivonne Arlette Guillén Rendón, Eduardo Osbaldo Ramírez Vaquero, Carlos Gabriel Vargas Gutiérrez.
- ED19 **La educación financiera en estudiantes de nivel superior: un caso de estudio** ED-165
Alberto Garduño Martínez, Yenit Martínez Garduño, Carlos Alberto Baltazar Vilchis.
- ED20 **Estudio longitudinal del rendimiento escolar en el evento de ciencias básicas, nivel medio superior fase I** ED-174
Rosa Alba Krauss Machorro, Sandra Miriam Hernández Cuazitl, María de Lourdes Abdala Castillo, Lilita González Martínez, Victoria Elizabeth Hernández Pacheco.
- ED21 **Conocimiento y manejo de las TIC en los docentes de educación superior de Guanajuato** ED-182
Porfirio Tamayo Contreras, Carlos Arias Castillo, Marta Leticia Velázquez Morales, Ángel Gutiérrez Rodríguez y Héctor Fabián Gutiérrez Rangel.
- ED22 **Sistema de monitoreo de signos vitales y videovigilancia en tiempo real para una incubadora neonatal** ED-191
Williams Ortiz Martínez, Fernando Osvaldo González Manzanilla y Juan Chávez Medina.
- ED23 **Aplicación e implementación de FreeFem++ en disciplinas Ingenieriles** ED-201
Francisco Vidal Caballero Domínguez, Luis Alberto Vicente Hinestroza, Alexis Marco Antonio Romero Pérez, Edgar Ali Ramos Gómez, Ian Guillermo Monsiváis Montoliu.

Herramientas tecnológicas y su impacto en la interacción alumno-maestro: Breve análisis.

G. Sánchez García^{1*}, A. Jiménez Ortíz²

¹Instituto Tecnológico De Tuxtepec, Avenida Dr. Víctor Bravo Ahuja S/N, 5 de mayo, 68350 San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca. gaspar.sg@tuxtepec.tecnm.mx

²Universidad Filadelfia de México, Calle Olmecas, esquina Mixes, 95427 Cd Alemán, Ver. anajs_isc@hotmail.com

Área de participación: Investigación educativa

Resumen

El presente estudio es de tipo cuantitativo descriptivo que analiza los promedios de dos grupos de ecuaciones diferenciales del Instituto Tecnológico de Tuxtepec, a través de la prueba estadística paramétrica t-student para muestras independientes; con la finalidad de medir la eficacia de las herramientas interactivas utilizadas para mejorar el proceso de interacción alumno-maestro en clases online durante la pandemia por covid-19. Primeramente, se identificaron y analizaron los retos de la educación a distancia en materia de interacción, posteriormente, se buscaron e implementaron diferentes herramientas que coadyuvaron a superar los desafíos identificados, la prueba no arrojó diferencias significativas del promedio entre ambos grupos y las calificaciones del grupo online fueron menos dispersas con respecto al grupo presencial de acuerdo con la desviación estándar de las calificaciones; sin embargo, existen algunos obstáculos y retos en materia de brecha digital que afectan la efectividad de las herramientas en un sector del grupo vulnerable.

Palabras clave: Herramientas, interacción, educación, online.

Abstract

This article is of a quantitative descriptive type that analyzes the averages of two groups of differential equations of the Technological Institute of Tuxtepec, through the parametric statistical test t-student for independent samples; to measure the effectiveness of the interactive tools used to improve the process of student-teacher interaction in online classes during the covid-19 pandemic. Firstly, the challenges of distance education in terms of interaction were identified and analyzed, later, different tools were sought and implemented that helped to overcome the challenges identified, the test did not show significant differences in the average between both groups and the qualifications of the group online were less dispersed concerning the face-to-face group according to the standard deviation of the qualifications; however, there are some obstacles and challenges in terms of the digital divide that affect the effectiveness of the tools in a sector of the vulnerable group.

Keywords: Tools, interaction, education, online.

Introducción

La pandemia no solo puso en manifiesto la falta de alfabetización digital por partes de los actores principales del proceso de enseñanza-aprendizaje; si no también, la gran desigualdad de recursos y servicios con los que cuentan los alumnos y profesores para poder desarrollar una educación a distancia eficaz y confiable, que permita a los alumnos obtener las competencias necesarias para su formación académica. Pese a lo anterior las Tecnologías de la información y comunicación (TIC) se convirtieron en herramientas fundamentales para cumplir con el reto de lograr las competencias de las asignaturas asignadas a cada profesor; por lo que los profesores se vieron forzados a cambiar su modelo de enseñanza tradicional por una nueva forma de aprendizaje, creando con ellas, modelos pedagógicos de aprendizaje que se basan en una comunicación y colaboración ubicua, en tiempo real [1]. La creación de los nuevos modelos pedagógicos debe considerar primordialmente los objetivos, propósitos y competencias que se desean desarrollar en los alumnos para que de esta manera se construyan las

estrategias didácticas que incluyan las TIC no como simples herramientas de comunicación, sino herramientas de formación que propicien un conocimiento significativo en los estudiantes [2] [3].

La evolución acelerada de la educación propició la creación de entornos virtuales de aprendizajes (EVA) donde la comunicación debe ser clara y efectiva, ya que de ésta depende en gran medida el proceso de intercambio entre el alumno y el profesor; entre mayor sea la calidad de esta interrelación, mayores serán los logros y acuerdos que beneficien el proceso de enseñanza/aprendizaje [4].

Debido a la importancia de la interacción alumno-maestro [5] que propicie una comunicación efectiva, se identificaron las áreas de las clases online donde la participación del alumno era necesaria y en tiempo real para generar la situación didáctica que propicia el conocimiento; posteriormente, se realizó una búsqueda en la web para elegir herramientas tecnológicas que tuvieran las características que se ajustaran a las necesidades encontradas.

A pesar de que las TIC utilizadas proveen una forma de interactuar en tiempo real, actualmente derivado de la brecha digital que existe en nuestro país, no se pueden implementar al 100% en la mayoría de los casos; ya que para su correcto funcionamiento dependen de una buena velocidad de internet y recursos de hardware capaces de soportar su ejecución por parte de los alumnos y maestros. Pero si se logran implementar correctamente, las calificaciones de los alumnos no se ven afectada por el entorno virtual y en la mayoría de los casos, gracias a las herramientas se obtiene una mejora con respecto a la media.

Este estudio tiene como propósito medir la eficacia de las herramientas seleccionas en materia de interacción entre alumno-maestro en las clases online.

Metodología

Este estudio es de tipo cuantitativo descriptivo, fue realizado en la ciudad de Tuxtepec Oaxaca con dos grupos de Ecuaciones diferenciales del Instituto tecnológico de Tuxtepec, uno de ellos presencial en el semestre Agosto/Diciembre 2019 y el otro online Agosto/Diciembre 2021 del cuál se obtuvo una muestra de los estudiantes que contaban con los recursos para ejecutar las TIC durante todas las sesiones online; se analizaron las diferencias entre el promedio de ambos grupos con la prueba estadística paramétrica t-student para muestras independientes, se realizó un análisis de las varianzas y la desviación estándar de las calificaciones obtenidas por los alumnos de ambos grupos, en la figura 1 se muestran los pasos que se llevaron a cabo durante el proceso.



Figura 1. Metodología.

Identificación de los retos de la educación online.

El primer reto es la elección de un sistema gestor de aprendizaje (LMS) adecuado y eficaz, ya que éste es el primer ambiente de interacción con el cual el alumno tendrá comunicación con el profesor. A raíz de la pandemia, aparecieron varias opciones con fortalezas y debilidades, es menester del profesor elegir un LMS que se adapte a sus necesidades, pero sobre todo que tenga capacidad de embeber dentro de sí, las herramientas tecnológicas interactivas necesarias para el desarrollo de la clase, sin perder de vista las competencias deseadas.

Un elemento importante en el proceso educativo es: la interacción alumno-maestro, los alumnos se han convertido en una etiqueta en las clases virtuales con un mínimo de participación e interacción en clase online; existen tres patrones de intercambio o interacción alumno-docente [5]. El primero es el modelo maestro-alumno donde la interacción del profesor es casi nula y se da en una sola dirección. El siguiente modelo es el alumno-maestro-alumno, donde se forman un grupo aislado donde no participa el profesor constantemente; por último, el modelo maestro-alumno-alumno-maestro donde la interrelación entre ambos es constante. Parece ser que las clases online favorecen al primer y segundo modelo de interacción, lo ideal es que en clase se mantenga el tercer modelo de interacción, donde el alumno pueda preguntar con libertad sus dudas y el maestro pueda dar su conocimiento y así la información fluya en ambos sentidos; sin embargo, esta interacción es difícil de lograr en modalidad online. Este es el segundo reto.

El tercer reto de la educación a distancia es: una evaluación eficaz que mida el aprendizaje real de un alumno, el problema de la entrega de trabajos duplicados se ha incrementado considerablemente ya que el "copy" y "paste" se ven favorecidos con los trabajos digitales que se aceptan como evidencia. Si bien, el alumno en nivel licenciatura es responsable de su formación académica, parte de nuestra función es asegurarnos que la calificación obtenida refleje la competencia adquirida.

Herramientas tecnológicas que coadyuvan a superar los retos identificados.

Concerniente al primer reto, hay que tomar en cuenta que para transmitir el conocimiento en los AVA es necesario una propuesta innovadora que incluya no solo una interfaz adaptable a los gustos y las necesidades del docente, sino que también, sea intuitivo para el alumno, que tenga la capacidad de embeber herramientas externas que coadyuven la interacción entre alumno-maestro, además de contar con un sistema de calificación eficaz y configurable. Por todo lo anterior, en concordancia con diversos autores [6], MOODLE es la mejor opción; ya que no solo es un LMS gratuito, sino que es muy configurable, multiplataforma, estable, goza de una excelente comunidad de soporte técnico, compatible con muchas herramientas interactivas como H5P, plugins disponibles de una gran variedad de herramientas, tiene capacidad de respaldar y restaurar cursos, entre muchas otras funcionalidades.

Una herramienta externa que complementa la interfaz de Moodle es Genially; con ella se pueden realizar presentaciones de los contenidos de las asignaturas para mostrar la información al estudiante de manera intuitiva, llamativa e interactiva, además que Moodle puede embeberla dentro de su ambiente virtual.

Para el reto de la interacción entre alumno-maestro, de acuerdo con la situación didáctica; diversos autores señalan que materias como las matemáticas, lenguas y ciencias, pueden desarrollarse mejor incluyendo juegos, ya que estos promocionan el desarrollo de habilidades específicas para generar aprendizaje [7]. Por lo anterior, incluir herramientas de realidad virtual no inmersiva en clases online, brinda interactividad en la clase y comunicación en tiempo real con el alumno, emulando la interacción que se tiene en un aula presencial, transformando la sesión en una clase dinámica y amena que mantenga atento, motivado e interesado al alumno. Las herramientas de interacción que se aplicaron fueron:

- Participación en clase: Google Jamboard es una pizarra digital colaborativa donde los alumnos no solo pueden visualizar en su pantalla los ejercicios, sino que pueden participar escribiendo las respuestas a los problemas o moviendo objetos en tiempo real y que todos los participantes de la sala pueden observar.

- Selección de alumnos: wordwall.net tiene diferentes herramientas interactivas donde a través de una herramienta de ruleta puedes ingresar el nombre de los alumnos y esta seleccionará al azar un participante.
- Preguntas y respuestas: Kahoot es una herramienta que permite utilizar el celular de los alumnos como control remoto para seleccionar respuestas a las preguntas que se despliegan en la pantalla; en tiempo real, el maestro puede visualizar las respuestas seleccionadas por el grupo y retroalimentar.

Por último, las herramientas interactivas que permiten medir eficazmente la comprensión de un tema deben tener la cualidad de evitar que los alumnos se pasen las respuestas, puedan controlar que hagan equipos para contestar la prueba o buscar las respuestas teóricas en un buscador online; pero a la vez, sean capaces de realizar pruebas de manera innovadora que capten la atención del alumno, dichas herramientas son:

Kahoot y Slido: Ambas herramientas son muy útiles porque su interacción es en tiempo real con el alumno, se programa un tiempo para responder cada pregunta y de esta manera evitar que se pasen las respuestas debido a que una vez que el tiempo termina el sistema califica y cierra la pregunta; cuenta con varios formatos predeterminados de examen, pero la versión completa es de paga. Kahoot en la versión libre, solo te permite hacer dos tipos de preguntas: falso o verdadero y opción múltiple sin respuestas repetidas; por su parte, Slido en versión gratuita permite hacer preguntas de todo tipo, pero no te da opción de mostrar los reportes, los cuales, son indispensables para el docente, ya que, del resultado de la actividad, depende la estrategia de clases para lograr la competencia. Kahoot por su parte, si te otorga el reporte de la actividad, pero solo pueden participar 10 estudiantes al mismo tiempo en la actividad, con una cuenta institucional, Kahoot otorga 50 estudiantes, pero con el tiempo, se reducirá a 10.

Hotpotatoes: Contar con una amplia gama de opciones de ejercicios, se traduce en que los alumnos no caigan en la monotonía de bajar y subir actividades; sino que interactúen con las herramientas y les resulten entretenidas; con esta herramienta, se pueden diseñar una variedad de ejercicios que se pueden exportar como Modelo de Referencia para Objetos de Contenido Compartible (SCORM) y embeberse en Moodle, teniendo la capacidad de calificarse en automático por la plataforma.

Edpuzzle y H5P: Realizar videos interactivos sobre ejercicios resueltos por el profesor e ir preguntando mientras se resuelve el ejercicio y asignar una calificación dependiendo de las respuestas, es posible, gracias a estas herramientas que se pueden configurar para que el alumno no adelante el video; es decir, se vea obligado a verlo hasta el final, si el alumno cambia de pestaña en el explorador o minimiza su ventana, el video se detiene automáticamente y no es posible reproducirlo a menos que esté en primer plano. Ambas herramientas cuentan con la capacidad de interactuar con Moodle para asignar una calificación de las respuestas recibidas a cada alumno en automático y promediarla si el calificador está activado, lo que facilita mucho el proceso de calificar y promediar al alumno.

Resultados y discusión

Después de la implementación de las herramientas tecnológicas interactivas en la clase online, se contrastaron las calificaciones obtenidas de ambos grupos:

Tabla 1. Calificaciones obtenidas en el semestre agosto/diciembre 2019.

Grupo presencial					
80	79	70	77	93	97
100	78	76	70	100	89
93	70	70	97	100	82
83	70	70	97	84	97
80	97	93	97	97	100
70	70	70	97	70	93

Tabla 2. Calificaciones obtenidas en el semestre agosto/diciembre 2021.

Grupo online					
70	80	70	97	97	79
80	70	100	70	70	97
80	70	93	78	93	70
97	80	97	97	83	
80	70	100	100	80	
97	97	93	93	97	

Varianza y desviación estándar de las calificaciones.

A continuación, se muestra el cálculo de la varianza y desviación estándar de las calificaciones de ambos grupos:

$$\text{Presencial } s^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n} = \sum_{i=1}^{36} \frac{4868}{35} = 139 \quad \sigma = \sqrt{s^2} = \sqrt{139} = 11.78$$

$$\text{Online } s^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n} = \sum_{i=1}^{33} \frac{4259}{32} = 133 \quad \sigma = \sqrt{s^2} = \sqrt{133} = 11.53$$

Concerniente a las varianzas y la desviación estándar de las calificaciones obtenidas, se puede observar que fue más grande en el grupo presencial que en el grupo online; por lo que las calificaciones del grupo presencial están más alejadas entre sí, que las que obtuvieron los del grupo online.

En la figura 2, se muestra la gráfica de dispersión de las calificaciones del grupo presencial con respecto a la media aritmética.

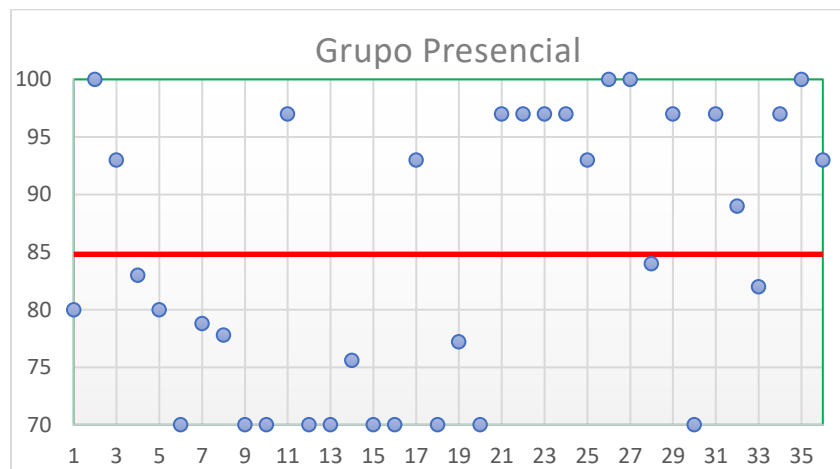


Figura 2. Desviación estándar grupo presencial.

En la figura 3, se muestra la gráfica de dispersión de las calificaciones del grupo online con respecto a la media aritmética.

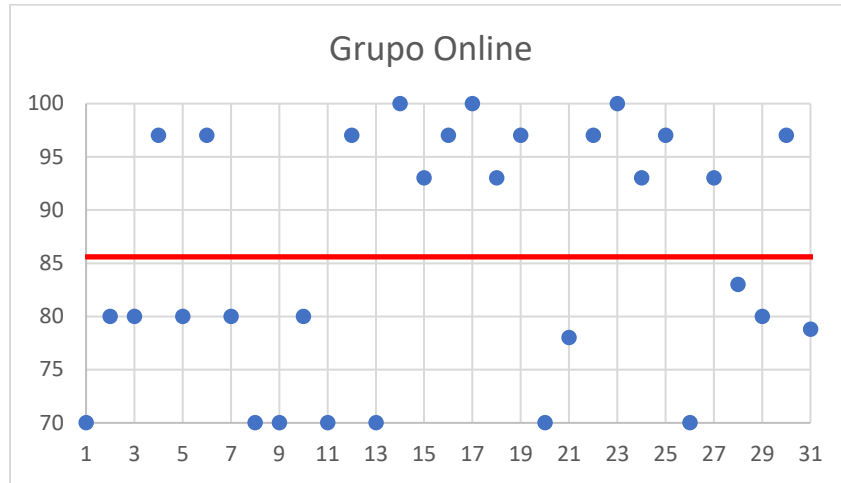


Figura 3. Desviación estándar grupo online

Prueba t-student.

Para realizar la prueba estadística paramétrica entre los grupos independientes asumiendo varianzas iguales, se planteó la hipótesis H1: El promedio de los alumnos online utilizando herramientas que coadyuven a la interacción alumno-maestro presentará variaciones significativas respecto a la educación presencial. Los cálculos se observan en la figura 4.

H1: $\mu_1 \neq \mu_2$

H0: $\mu_1 = \mu_2$

$$s_c^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} = \frac{4876.89 + 4389.57}{36 + 31} = 138.30$$

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_c^2}{n_1} + \frac{s_c^2}{n_2}}} = \frac{84.8 - 85.6}{\sqrt{\frac{138.30}{36} + \frac{138.30}{33}}} = -0.25$$

Figura 4. Cálculo de T- Student

En la figura 5, se puede observar la ubicación del P. valor en una t-student de dos colas el cual cae en la zona de H0.

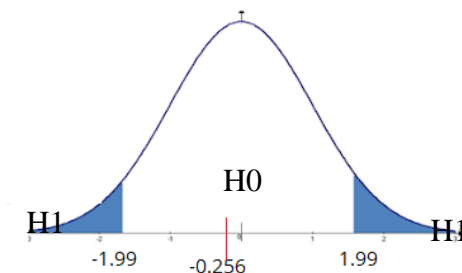


Figura 5. Grafica del valor t en la campana de Gauss

Encuesta de satisfacción sobre las herramientas tecnológicas utilizadas.

Al finalizar el curso online, se encuestó a los alumnos sobre el grado de satisfacción con respecto a la didáctica conjunta con las herramientas tecnológicas y las respuestas se pueden observar en la figura 6.

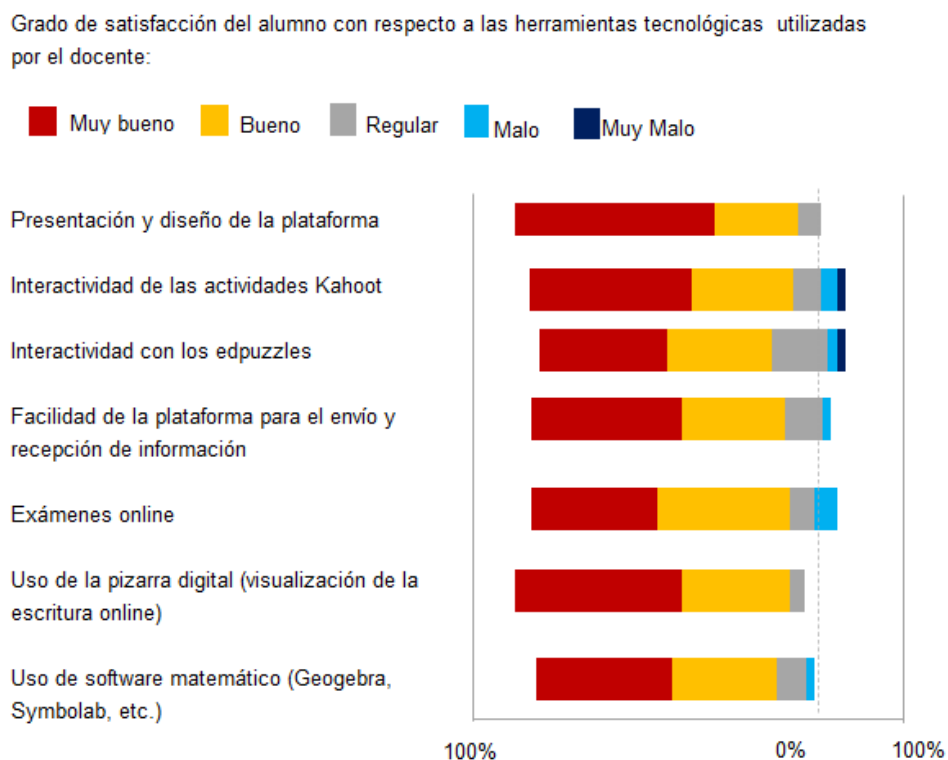


Figura 6. Respuestas del grupo online.

Trabajo a futuro

- Los LMS llegaron para integrarse al nuevo modelo educativo como herramientas de apoyo en la formación profesional; pero para obtener mejores resultados se debe trabajar en reducir la brecha digital que aún existe en nuestro país.
- Igual de importante es un LMS eficaz como el saber utilizarlo, por lo que la alfabetización digital de docentes y alumnos respecto a tecnologías educativas es un tema imperativo para obtener los resultados deseados.

Conclusiones

En concordancia con el resultado de la prueba estadística y el análisis de las varianzas, se concluye lo siguiente:

En cuanto a las varianzas y la desviación estándar: la del grupo presencial fue mayor que la del grupo online; sin embargo, no fueron significativas, lo que significa que las herramientas cumplieron con su objetivo de virtualizar la interacción presencial.

La prueba estadística aceptó la hipótesis nula, la cual indica que no existieron diferencias significativas entre los grupos; sin embargo, se necesita que los docentes tengan dominio de las herramientas y los recursos necesarios para desplegarlas, así como también, que los alumnos cuenten con los requisitos mínimos de hardware y software para ejecutarlas en sus dispositivos electrónicos.

Concerniente a la aceptación de los alumnos a las herramientas, en concordancia con diversos autores, las herramientas son bien aceptadas por los alumnos, los cuales muestran interés y disposición para adaptarse a los nuevos entornos de aprendizaje virtual.

Referencias

- [1] M. d. C. Crespo Argudo y M. C. Palaguachi Tenecela, «Educación con Tecnología en una Pandemia: Breve Análisis,» *Revista Scientific*, vol. 5, nº 17, p. 293/310, Octubre 2020.
- [2] N. E. López Maldonado y e. al., «Herramientas digitales en tiempos de covid-19: percepción de docentes de educación superior en México,» *RIDE*, vol. 12, nº 23, pp. 1-28, Diciembre 2021.
- [3] J. F. Flores Moran, «La relación docente- alumno como variable mediadora del aprendizaje,» *Revista San Gregorio*, nº 35, pp. 174-186, 29 Diciembre 2019.
- [4] R. N. Bravo Alvarado , «Comunicación efectiva a través de la Virtualidad en la Formación Universitaria.,» *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.*, nº Edición Especial, pp. 1-30, Junio 2020.
- [5] L. Zambrano Zambrano, P. S. Freire Sierra y J. T. Tingo Herrera, «La relación entre docente y estudiante universitario en las actividades de investigación extracurricular,» *Universidad y Sociedad* , vol. 10, nº 3, pp. 14-20, Abril-Junio 2018.
- [6] A. Del Prete y J. Cabero Almenara, «Las plataformas de formación virtual: algunas variables que determinan su utilización,» *Apertura*, vol. 11, nº 2, pp. 138-153, Octubre 2019.
- [7] «Aprender a diseñar juegos para la enseñanza de las ciencias en la formación inicial de maestras y maestros en educación primaria.,» *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 19, nº 3, pp. 1-20, 2022.

Resiliencia en estudiantes de Ingeniería Industrial del TecNM Tierra Blanca en la nueva normalidad postCovid-19

L. Fuentes Rosas^{1*}, M. T. Torres López², J. Hernández Ramírez³, E. E. Díaz López⁴

^{1*} Tecnológico Nacional de México campus Tierra Blanca/Colegio Interdisciplinario de Investigación.
liliana.fuentes@itstb.edu.mx

²Hospital de Salud Mental Orizaba SESVER/Colegio Interdisciplinario de Investigación.
aserettorres@hotmail.com

³Tecnológico Nacional de México campus Escárcega/Colegio Interdisciplinario de Investigación.
julietahernandez@itsescarcega.edu.mx

⁴Tecnológico Nacional de México campus Orizaba/Colegio Interdisciplinario de Investigación.
psic.erandy@hotmail.com

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

La resiliencia es una respuesta de adaptación ante situaciones adversas a las cuales un individuo se enfrenta; en un contexto postpandemia, los estudiantes de nivel superior deben adaptarse a la nueva normalidad. El objetivo del presente trabajo es medir y analizar el nivel de resiliencia en alumnos de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México, campus Tierra Blanca. Las autoras presentan un estudio descriptivo de corte transversal en 61 estudiantes, se aplicó la escala RESI-M tipo Likert, integrada de 43 ítems, en cinco dimensiones, con una fiabilidad del 0.904 dada por el alfa de Cronbach que explica 43.60% de la varianza. Los resultados muestran que los hombres refieren un nivel de resiliencia mayor que las mujeres, las dimensiones, competencia social, apoyo familiar, apoyo social y estructura dieron puntajes de perfil de resiliencia alta. En términos globales, la escala evidenció una resiliencia alta de la muestra estudiada.

Palabras clave: Resiliencia, estudiantes, nueva normalidad.

Abstract

Resilience is a response of adaptation in face of adverse situations that an individual faces; in view of a post-pandemic and readaptation context to new normality after COVID-19: the objective of this study is to measure and analyze the current resilience level in students of Industrial Engineering at Tecnológico Nacional de México campus Tierra Blanca. The authors present a descriptive, cross-sectional study for a 61 students sample, RESI- M scale formed by 43 items, with five dimensions and Likert scale, reliability of 0.904 by Cronbach's alpha which explains variance of 43.60%. Results indicate that males refer a higher level of resilience than women, social competences, family support, social support, and structure presented high scores in the resilience profile. In global terms, the scale made evident high resilience in the sample of the study.

Key words: Resilience, students, new normality.

Introducción

El hombre como ser social ha requerido interactuar con sus congéneres en su entorno formando organizaciones con la finalidad de satisfacer necesidades, sin embargo, estas sociedades requieren de adaptación que entrelaza las variables individuales y sociales, posibilitando encajar en la sociedad y producir un bien al interior de la misma, esta adaptación genera alteraciones físicas y psíquicas que requieren la capacidad de afrontamiento para controlar y evitar los efectos desfavorables de los cambios adaptativos, a esta adaptación se le conoce como resiliencia [1].

La resiliencia se refiere a la adecuación que se experimenta posterior a un episodio de estrés que quebranta lo considerado normal, es un equilibrio entre los riesgos y factores protectores propios de cada individuo resultado de una interacción familiar y social adecuada, el ser resiliente da paso a la pericia de no fragmentarse ante las complicaciones o presiones de los cambios propios de la vida o del entorno, en pocas palabras, sobreponerse a las adversidades de la vida adaptándose a una nueva normalidad [2]. La resiliencia se relaciona con el optimismo, la satisfacción con la propia vida y el bienestar percibido [3].

Los grandes saltos de la humanidad, así como la aclimatación a las calamidades, son la respuesta fehaciente de que el hombre tiene la capacidad de resiliencia como parte de su salud mental, influido por el contexto. Las respuestas adaptativas y las capacidades de cada individuo para responder al cambio o a los requerimientos de cada situación, arguyendo en esto los tiempos de adaptación unipersonal; para Weidlich [4] la resiliencia se basa en formas de pensar, sentir y comportarse propias de cada individuo. Castagnola [5] la considera la resistencia a la adversidad. La resiliencia se hace evidente en situaciones que alteran el orden ya establecido de vida humana, las cuales generan cambios que para algunos son situaciones limitantes y para otros son oportunidades de crecimiento [6].

La resiliencia como término es nuevo, en cambio, la adaptación al entorno acompaña al hombre desde tiempos inmemorables, en los años ochenta del siglo XX se inicia su análisis de forma científica [7]. Observándose en ello cualidades individuales, capacidad de análisis y procesamiento de la información asociado al entorno, autoconocimiento, capacidades sociales y pensamiento crítico que llevan al aprendizaje [8]. Contribuye a mejorar la vida del hombre y de su desempeño en la comunidad, dando lugar a la reorganización y adaptación ante la adversidad [9].

En diciembre del 2019, la ciudad de Wuhan, Hubei (China), dio paso a una emergencia mundial [10]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró al Covid-19 como una Pandemia el 11 de marzo de 2020; poniendo en jaque a todas las organizaciones, la evolución drástica de la enfermedad impactó en la vida considerada hasta ese punto normal [11]. El estrés vivido durante los tiempos de confinamiento obligatorio dio paso a desregulaciones psicobiológicas conduciendo a múltiples problemas físicos y mentales que puso a prueba la resiliencia [12].

Según Brik [13] la resiliencia se puede potenciar a nivel individual en el contexto del Covid-19 a través de mantenerse activos, reflexivos y controlando las situaciones frente al entorno, potenciando y utilizando las capacidades intelectuales frente a la adversidad, impulsando la cohesión familiar, disponiendo de apoyo externo y de instituciones o grupos.

Derivado de la situación actual por la Covid-19 han aparecido varios estudios sobre resiliencia como el llevado a cabo sobre el ámbito sanitario [14], el impacto psicológico y social en la vida cotidiana [15], o el modo en el que la comunidad universitaria desarrolla diferentes estrategias para adaptarse a las nuevas exigencias de la educación virtual [16]. Bajo la perspectiva universitaria y resiliente, los comportamientos de los jóvenes universitarios se pueden entender como metáforas que invitan a los adultos a ser más coherentes, éticos y contundentes, en tanto sus relaciones como maestros y padres que forman para la vida, dadas sus experiencias vitales y trayectos recorridos [17]. Estudios entre los niveles de resiliencia y *engagement* (vigor, dedicación y absorción) en estudiantes de educación superior indican una alta asociación entre ser resilientes y tener compromiso [18]. La actualidad está impulsando a los jóvenes a emplear mecanismos de afrontamiento y poner en práctica destrezas y capacidades que les permitan sobreponerse y mantenerse en equilibrio [19].

Las tecnologías de información y comunicación (TIC) dejaron de ser un apoyo para convertirse en una herramienta necesaria, los tecnológicos adecuaron sus programas educativos a la llamada nueva normalidad, donde las TIC representaron el recurso óptimo para dar seguimiento a la administración de recursos, dispersión de contenido y actividades de aprendizaje [20]. El impacto psicológico y socioemocional devenido del Covid-19 es una oportunidad de formación en desarrollo socioafectivo y resiliencia tanto como para estudiantes como para docentes; los unos para desarrollar la resiliencia como capacidad y los otros para facilitar procesos de aprendizaje donde la contención emocional forme aquella [21].

La rápida propagación de Covid-19 llevó a las organizaciones educativas de nivel superior a enfrentarse a nuevas necesidades en busca de la subsistencia de la escuela y del desempeño escolar dentro de parámetros óptimos [18]. Los contextos educativos se modificaron a nivel mundial, en territorio nacional, el Tecnológico Nacional de México (TecNM) no fue la excepción. Durante varios meses en algunas zonas, e incluso un par de años en otras, el estudiantado estuvo sometido a las condiciones escolares que se designaron especialmente con base en la normativa de la Organización Mundial de la Salud (OMS); TecNM mantuvo clases e implementó junto con la Secretaría de Educación Pública (SEP) y otras instituciones académicas de todo el país, una estrategia de seguimiento de las actividades escolares de los estudiantes, mediante el uso de plataformas digitales, videoconferencias, correos institucionales y otras TIC, las cuales se emplearon con fines educativos y de comunicación; se considera que los meses posteriores al retorno a la normalidad se observarían las repercusiones educativas secundarias a este período de encierro y aislamiento voluntario [22]. Una de las principales situaciones

por observar es, sin duda, el regreso a las aulas o el estado de emocional ante los cambios de “la normalidad” como se conocía.

Los cambios en el sector educativo modificaron los escenarios, habilidades y competencias de los docentes y de los educandos, imponiendo un reto a las instituciones de educación superior [23]. Confrontando a los docentes con sus propios conocimientos y confinando al estudiantado a sus hogares. Actualmente, la didáctica es una combinación de tecnología, creatividad, participación e inclusión; con mayor alcance en consecuencia de la facilidad de tener estudiantes de cualquier parte del país, aunque con la necesidad insatisfecha de contar con todos los medios y recursos para llegar a las áreas rurales [24].

TecNM implementó y brindó nuevos esquemas de trabajo académico previo y durante la “nueva normalidad” mientras se estuvo en casa en periodos de confinamiento y sana distancia; algunos institutos regresaron a las aulas de manera tardía como fue el caso del ITSTB, mejor conocido como campus Tierra Blanca. Dentro de este contexto, el reingreso a las aulas tardó más del año y medio en concretarse, periodo en que el estudiantado se mantuvo con plataformas y asignaciones digitales evitando irrumpir la normatividad impuesta en el distanciamiento social obligatorio haciendo uso de estrategias organizacionales influenciadas también por las autoridades estatales como la Estrategia Estatal de Sana Distancia en la que se incluía material alineado al Gobierno del estado de Veracruz, en específico de la Secretaría de Educación de Veracruz (SEV) y la Subsecretaría de Educación Media Superior y Superior (SEMSyS) donde se agregaron contenidos en 3 rubros: lee un libro e inspírate en casa, actívate en casa y profesionalización y capacitación docente [25].

Las instituciones educativas son recintos que promueven múltiples valores durante y después de la trayectoria en cada estudiante que pasa por ellas; TecNM, de acuerdo con las cifras de su portal oficial, es la institución de educación superior que mantiene la mayor presencia tanto a nivel nacional como a nivel Latinoamérica siendo actualmente conformada por 254 planteles y se atiende al 12% de la matrícula del país. Sólo en Veracruz, hacia 2016 contaba con 18 planteles dentro del estado. Uno de los tecnológicos que conforman la oferta de TecNM en la zona veracruzana es el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca (ITSTB), al que se enfoca este trabajo. Con una población de 95,602 habitantes hacia 2020 de acuerdo al INEGI [26], siendo 52.1% mujeres y 47.9% hombres y con una población joven en edad universitaria de alrededor del 12% del total de habitantes Tierra Blanca es un municipio ubicado en el estado de Veracruz en la región del Papaloapan que tiene una cercanía colindante en una parte con el estado de Oaxaca, la cabecera municipal cuenta con el mismo nombre y alberga al campus de estudio: el ITSTB; este campus alberga cerca de 3,800 estudiantes.

El objetivo de la investigación es analizar y describir el estado de resiliencia del estudiantado del TecNM campus Tierra Blanca mediante el cuestionario de propiedades de la escala de resiliencia mexicana en la población en un periodo postpandemia Covid-19 bajo la nueva normalidad.

Metodología

Participantes

Se realizó una investigación con enfoque cuantitativo no experimental (observacional), bajo un estudio descriptivo y de corte transversal a una muestra del estudiantado de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México campus Tierra Blanca, para analizar la resiliencia. Los participantes son estudiantes que se encuentran activos en el campus y fueron elegidos de manera intencional y no probabilística; se conformó un grupo de 61 alumnos.

Instrumento

Se utilizó la Escala Mexicana de Resiliencia (RESI-M), desarrollada en 2010. Este instrumento consiste en un cuestionario de 43 ítems distribuidos en cinco factores: fortaleza y confianza en sí mismo (ítems 1-19, $\alpha = 0.93$) que hace referencia a la claridad en los objetivos, esfuerzo para alcanzarlos, autoconfianza, optimismo, y tenacidad; competencia social (ítems 20-27, $\alpha = 0.87$) considerada la capacidad de los individuos para relacionarse con otros, facilidad para socializar y disfrutar; apoyo familiar (ítems 28-33, $\alpha = 0.87$) es el soporte familiar percibido por medio de la comunicación, unión y lealtad en el entorno familiar, así como la socialización en este entorno; apoyo social (ítems 34-38, $\alpha = 0.84$) son los recursos psicológicos derivados de la adaptación al medio donde el individuo se siente estimado y valorado; y estructura (ítems 39-43, $\alpha = 0.79$) las capacidades propias de cada individuo para organizar, planificar actividades y tiempo, seguir reglas y realizar actividades asignadas dentro de una sociedad. El instrumento tiene escala tipo Likert con cuatro opciones de respuesta, 1.

Totalmente en desacuerdo, 2. En desacuerdo, 3. De acuerdo, 4. Totalmente de acuerdo. La fiabilidad de la escala presenta una consistencia global de 0.93 de acuerdo con coeficiente Alfa de Cronbach, que explica 43.60% de la varianza. La estructura interna de la escala por medio de la prueba Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) arrojó una medida de adecuación muestral de 0.942, el grado de significancia de la esfericidad de Bartlett estuvo dada por 0.000, 903 gl y X² de 7711.939, tales resultados indican una excelente adecuación muestral, posteriormente se realizó un análisis factorial confirmatorio de los componentes o subescalas de la herramienta, verificando las correlaciones entre las dimensiones y las comparaciones de las cargas factoriales de cada elemento con respecto a los resultados obtenidos por los autores del instrumento original [27].

Los porcentajes de los niveles de resiliencia están considerados con base a los propuestos por Velasco-Rodríguez [28].

Resultados

La proporción por género de los participantes fue de 30 hombres (49.2 %) y 31 mujeres (50.8 %) (Tabla 1). Con una edad promedio de 20 (DE=1.47) Valor mínimo de 18 y valor máximo de 25 (Tabla 2). De ellos, 1 se encuentra en segundo semestre (1.6 %), 23 en tercer semestre (37.7 %), 2 en cuarto semestre (3.3 %), 10 en quinto semestre (16.4%), 2 en sexto semestre (3.3 %), 13 en séptimo semestre (21.3 %), 1 participante en octavo semestre (1.6 %) y 9 en noveno semestre (14.8 %) (Tabla 3).

Tabla 1. Frecuencias de género

Nivel	Cantidad	% del total	% Acumulado
Masculino	30	49.2	49.2
Femenino	31	50.8	100

Tabla 2. Descriptivos de edad

	Edad
N	61
Media	20.0
Mediana	20
Desviación estándar	1.47
Mínimo	18
Máximo	25

Tabla 3. Frecuencias por semestre

Semestre	Cantidad	% del Total	% Acumulado
2	1	1.6	1.6
3	23	37.7	39.3
4	2	3.3	42.6
5	10	16.4	59.0
6	2	3.3	62.3
7	13	21.3	83.6
8	1	1.6	85.2
9	9	14.8	100.0

Es importante hacer notar, como se muestra en la tabla 4, que el 55.7 % del estudiantado conoce el concepto de resiliencia, resultando ser el género femenino quien tiene mayor conocimiento al respecto.

Tabla 4. Frecuencias del conocimiento de la palabra resiliencia

Conocimiento	Sexo	
	Masculino	Femenino
Sí	16	18
No	14	13

La resiliencia, valorada en cada una de las dimensiones y de manera global, se considera en un nivel bueno. Tomando como referencia los cuartiles se muestran los resultados obtenidos en cada dimensión (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados en cuartiles

Dimensión	Cuartil	Valor	Resultado obtenido
D1: Fortaleza y confianza en sí mismo	Q2	2318	2727
D2: Competencia social	Q3	1464	1473
D3: Apoyo familiar	Q3	1098	1268
D4: Apoyo social	Q3	915	1104
D5: Estructura	Q3	915	967
Escala global	Q2	5246	7539

Se observa, en la tabla 5, que las dimensiones de competencia social, apoyo familiar, apoyo social y estructura reportan un valor por arriba del tercer cuartil, mientras que la dimensión de fortaleza y confianza en sí mismo al igual que la escala global refieren un valor por arriba del segundo cuartil.

Los resultados de la escala RESI-M que el 77 % del alumnado estudiado tuvieron un nivel alto de resiliencia, siendo las dimensiones de Fortaleza y confianza en sí mismo y Apoyo social donde se observan las puntuaciones más elevadas y las dimensiones de Apoyo familiar y Competencia social las de puntuaciones más bajas (Tabla 6).

Tabla 6. Nivel de resiliencia obtenida en la escala RESI-M, por dimensiones y global

Dimensión	Nivel de resiliencia		
	Baja (0-50 %)	Media (51-75 %)	Alta (76 o más %)
Fortaleza y confianza en sí mismo	0	9	52
Competencia social	5	24	32
Apoyo familiar	2	45	14
Apoyo social	0	11	50
Estructura	1	24	36
Escala global	0	14	47

Los resultados muestran que la mayoría de los estudiantes presentan una resiliencia media y alta; siendo los hombres los más resilientes (Tabla 7).

Tabla 7. Distribución de los niveles de resiliencia en la muestra total, en hombres y mujeres

Nivel de resiliencia RESI-M (Escala global)	Hombres		Mujeres	
	Cantidad	Porcentaje de la muestra	Cantidad	Porcentaje de la muestra
Alta	25	41 %	22	36 %
Media	5	8 %	9	15 %

De los 43 ítems que incluye la escala, el ítem que registró el puntaje más bajo se ubica en la Dimensión 2: Compromiso social y los más altos en las dimensiones 3 y 4, Apoyo familiar y Apoyo social, respectivamente, registrando la dimensión 4 dos ítems con este puntaje (Tabla 8).

Tabla 8. Ítems con menor y mayor puntajes

Ítem	Dimensión	Nomenclatura	Leyenda	Puntaje obtenido	Valor
4	D2: Compromiso social	CS4	Es fácil para mí tener un buen tema de conversación	170	Mínimo
2	D3: Apoyo familiar	1464	Disfruto estar con mi familia	223	Máximo
2	D4: Apoyo social	AS2	Tengo algunos amigos/familia que me apoyan	223	Máximo
4	D4: Apoyo social	AS4	Tengo algunos amigos/familia que me alientan	223	Máximo

El ítem con menor puntaje (CS4), con respecto al sexo, no presenta diferencias significativas (Tabla 9).

Tabla 9. Frecuencias del ítem CS4: “Es fácil para mí tener un buen tema de conversación”

Escala	Sexo	
	Masculino	Femenino
1	1	2
2	9	11
3	13	10
4	7	7

De los ítems con mayor puntaje, el 2 (AF2): “Disfruto estar con mi familia” (Tabla 10). Los hombres aventajan a las mujeres.

Tabla 10. Frecuencias del ítem AF2: “Disfruto estar con mi familia”

Escala	Sexo	
	Masculino	Femenino
2	1	0
3	7	12
4	22	19

La dimensión apoyo social contiene los otros dos ítems con mayor puntaje (AS2) y 4 (AS4): “Tengo algunos amigos/familia que me apoyan” y “Tengo algunos amigos/familia que me alientan”, respectivamente. (Tablas 11 y 12) en estos ítems, las mujeres tienen ligera ventaja sobre los hombres.

Tabla 11. Frecuencias del ítem AS2: “Tengo algunos amigos/familia que me apoyan”

Escala	Sexo	
	Masculino	Femenino
2	1	0
3	10	9
4	19	22

Tabla 12. Frecuencias del ítem AS4: “Tengo algunos amigos/familia que me alientan”

Escala	Sexo	
	Masculino	Femenino
2	1	0
3	9	10
4	20	21

Discusión

La presente investigación contribuye con los estudios que miden la resiliencia entre estudiantes. El porcentaje de resiliencia alta en hombres coincide con los resultados obtenidos por Rangel, *et al.* [29] donde los varones muestran un mejor perfil de resiliencia, los resultados al respecto difieren con lo encontrado por Rodríguez [30] en donde las mujeres resultaron ser las más resilientes.

En cuanto a las dimensiones de apoyo familiar y apoyo social, que en este trabajo resultaron con puntajes altos, resultan coincidentes con la investigación realizada por Gradilla, *et al.* [31] donde el soporte familiar y redes de apoyo aportan mayores niveles de resiliencia entre los universitarios.

Trabajo a futuro

La resiliencia ha mostrado su presencia en el estudiantado del ITSTB; al igual que en otros estudios, esta ha sido objeto de análisis sobre todo por los últimos acontecimientos históricos y traumáticos de nuestra sociedad. Como trabajo futuro, y como se menciona dentro del documento, existen factores que impulsan o se relacionan con este concepto, mismos que serían de gran utilidad si se profundiza en el origen de los datos obtenidos, el sistema TecNM. Se sugiere un estudio similar en la plantilla laboral que permita comparar la presencia de resiliencia y adaptabilidad en grupos sociales diferentes que conviven en un mismo campus o ciudad. De igual manera, el factor edad tiene gran aporte si se redimensiona la muestra con jóvenes de edades similares, pero contextos diferentes, es decir, tomar en cuenta a la población en general. Otros trabajos potenciales surgen de amplificar lo realizado a un campus y lograr extenderlo a otros para visibilizar la importancia de la salud emocional durante la vida estudiantil, considerando ahora distintas regiones del país. Derivado de las dimensiones, la competencia social tendría varios trabajos que podrían retomar a la resiliencia como concepto fundamental en la inserción estudiantil y laboral, ya que se indicó la dificultad de socializar en algunos estudiantes.

Conclusiones

Del análisis de los resultados mostrados, se generan las siguientes conclusiones:

1. Como ha sido descrito, existe mayor conocimiento del concepto de resiliencia en estudiantes mujeres del TecNM Campus Tierra Blanca.
2. De acuerdo con los resultados, los hombres indicaron mayor resiliencia que las mujeres.
3. La fortaleza en sí mismos obtuvo una incidencia alta significativa con pocos estudiantes indicando lo contrario.
4. En general, la muestra estudiada señala que existe una resiliencia alta en los estudiantes en esta etapa de nueva normalidad a pesar del periodo de confinamiento que requirió de adaptarse a nuevos hábitos y rutinas.

Se considera relevante mencionar que de las cinco dimensiones analizadas por la escala, las que menos puntuación tuvieron fueron las de competencia social y apoyo familiar; esto sugiere tomar en cuenta como principales limitaciones del trabajo que los estudiantes se mantuvieron en estrecho contacto con sus familiares durante confinamiento ejerciendo estrés o conflictos derivados de la situación emocional traumática o pérdidas en casa, lo que podría ser la razón de algunas de las respuestas con menor puntuación además de que el contacto social se mantuvo por redes sociales en donde la interacción social es diferente a la convivencia física por lo que pudo también influir en la percepción actual de la competencia social al retorno a las aulas.

El estudio de la resiliencia es importante en esta etapa postpandemia ya que como lo indican las respuestas, mantenerse activo y positivo ante los acontecimientos que están aconteciendo, mantienen a la juventud expectante y con experiencias que difícilmente pueden ser comprendidas por otras generaciones, lo que es definitivamente un desafío para mantenerlos enganchados y estables ante las metas escolares y su formación profesional.

Referencias

- [1] M. Moran, M. Finez, E. Menezes, M. Pérez, J. Urchaga y G. Vallejo, "Estrategias de afrontamiento que predicen mayor resiliencia", *Revista de Psicología INFAD*, vol. 4, no. 1, pp. 183-190, 2019.
- [2] C. Alzugaray, A. Fuentes y N. Basabe, "Resiliencia Comunitaria: una aproximación cualitativa a las concepciones de expertos comunitarios", *Rumbos TS*, vol. 16, no. 25, pp. 181-203, 2021.
- [3] A. Belykh, "Resiliencia e Inteligencia Emocional: bosquejo de modelo integrador para el desarrollo del saber ser del estudiante universitario", *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, vol. 10, no. 29, pp.158-179, 2019. [En línea]. Disponible en <https://doi.org/10.22201/iisue.20072872e.2019.29.529>
- [4] J. Weidlich y M. Kalz, "Exploring predictors of instructional resilience during emergency remote teaching in higher education", *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 18, no. 43, pp. 1-26, 2021.
- [5] C. Castagnola, J. Carlos y D. Aguinaga, "La resiliencia como factor fundamental en tiempos de Covid-19", *Propósitos y Representaciones*, vol. 9, no. 1, pp. 1-18, 2021.
- [6] O. Navarro, L. Toro, J. Maldonado, "Resiliencia organizacional: competencia clave de los CEO", *Universidad y Sociedad*, vol. 9, no. 5, pp. 165-170, 2017.
- [7] E. Cocho, "10 características de las personas resilientes", *Coaching Gestalt*, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://coaching-gestalt.com/eres-resiliente-10-caracteristicas-de-las-personas-resilientes/>
- [8] Á. M. Barrero Plazas, K. T. Riaño Ospina y L. P. Rincón Rojas, "Construyendo el concepto de la resiliencia: una revisión de la literatura", *Poiésis*, n.º 35, p. 121, octubre de 2018. Accedido el 17 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.21501/16920945.2966>
- [9] A. Belykh, "Resiliencia e inteligencia emocional: conceptos complementarios para empoderar al estudiante", *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, vol. 48, n.º 1, pp. 255–282, enero de 1970. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.48102/rlee.2018.48.1.81>
- [10] X. Escudero, J. Guarner, A. Galindo, M. Escudero, M. Alcocer y C. Del Río, "La pandemia de

- Coronavirus SARS-CoV-2 (COVID-19): Situación actual e implicaciones para México”, *Archivos de Cardiología de México*, vol. 90, pp. 7-14, 2020.
- [11] J. Xiong, O. Lipsitz, F. Nasri, L. Lui, H. Gill, L. Phan, D. Chen-Li, M. Iacobucci, R. Ho, A. Majeed y R. McIntyre, “Impact of COVID-19 pandemic on mental health in the general population: A systematic review”, *Journal of Affective Disorders*, vol. 277, pp. 55-64, 2020.
- [12] D. Lee, E. Yu y N. Hee, “Resilience as a mediator in the relationship between posttraumatic stress and posttraumatic growth among adult accident or crime victims: the moderated mediating effect of childhood trauma”, *European Journal of Psychotraumatology*, vol. 11, no. 1, pp. 399-408, 2020.
- [13] E. Brik, “Resiliencia en tiempos del Covid 19 desde el Modelo Sistémico”, ITAD, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://itadsistemica.com/resiliencia/resiliencia-covid19-estrategia-afrentamiento/>
- [14] C. Bryce, P. Ring, S. Ashby y J. Wardman, “Resilience in the face of uncertainty: early lessons from COVID-19 pandemic”, *Journal of Risk Research*, vol. 23, no. 7-8, pp. 880-887, 2020.
- [15] S. Arrossi y S. Ramos, *Estudio TIARA. Primer avance de resultados*. Buenos Aires, Argentina. Estudio CEDES. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.cedes.org/bitstream/123456789/4534/6/Tiara-avance2020.pdf>
- [16] J. Cleland, J. McKimm, R. Fuller, D. Taylor, J. Janczukowicz y T. Gibbs, “Adapting to the impact of COVID-19: Sharing stories, sharing practice”, *Medical Teacher*, vol. 42, no. 7, pp. 772-775, 2020.
- [17] S. Posada, A. Castañeda y M. De Souza, “Resiliencia, estilos de vida y manejo del tiempo en jóvenes universitarios de Colombia, ante la pandemia COVID-19”, *Motricidades*, vol. 5, no. 2, pp. 196-212, 2021.
- [18] G. Medina, Y. Lujano, P. Aza y W. Sucari, “Resiliencia y engagement en estudiantes universitarios durante el contexto del COVID 19”, *Revista Innova Educación*, vol. 2, no. 4, pp. 658-667, 2020.
- [19] F. Bardales, “Programa de formación resiliente en hábitos y actitudes hacia el estudio en estudiantes universitarios”, *Delectus*, vol. 3, no. 2, pp. 15-26, 2020.
- [20] R. Limón, L. Cosme, S. López, S. Castillo y U. Morales, “Uso de recursos digitales y actividades académicas en periodo de contingencia por COVID-19”, *Journal CIM*, vol. 8, no. 1, pp. 2118-2124, 2020.
- [21] K. M. Cedeño Basurto y C. M. Lozano Farías, “Psicoeducación en resiliencia: Una propuesta educativa para la contención emocional post-covid”, *Revista EDUCARE - UPEL-IPB - Segunda Nueva Etapa 2.0*, vol. 26, Extraordinario, pp. 577-597, junio de 2022. Consultado el 17 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.46498/reduipb.v26iextraordinario.1698>
- [22] M. Frutos y R. Tello, “El impacto del COVID-19 en la salud mental de los jóvenes universitarios”, *Revista de Administración Pública RAP*, vol. 55, no. 2, pp. 129-148, 2020.
- [23] L. Vázquez, M. Zafra, S. Céspedes, S. Ceja y E. Pacheco, “Estudio sobre habilidades blandas en estudiantes universitarios: el caso del TECN M Coahuila”, *IPSA Scientia*, vol. 7, no. 1, pp. 10-25, 2022.
- [24] R. Espejo, I. Zych y V. Llorent, “Compliance with COVID-19 measures in adolescent and related sociodemographic and educational variables”, *Psychology, Society & Education*, vol. 14, no. 2, pp. 59-66, 2022.
- [25] Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, “#Me quedé en casa”, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://principal.itstb.edu.mx/mequedoencasa/>. [Accedido: 24-ago-2022]
- [26] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, “Tierra Blanca Veracruz”, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=Tierra+Blanca>. [Accedido: 22-ago-2022]
- [27] J. Blanco, P. Jurado, S. Aguirre y J. Aguirre, “Composición factorial de la escala de resiliencia mexicana en universitarios mexicanos”, *Formación Universitaria*, vol. 11, no. 6, pp. 99-106, 2018.
- [28] M. Rojo, “Relación entre inteligencia emocional, resiliencia y estrategias para el manejo de los conflictos en un instituto de enseñanza secundaria”, (Tesis doctoral) Departamento de psicología evolutiva y educación, Universidad de Murcia, Murcia, Esp., 2021.
- [29] N. Gradilla, E. Pimienta y S. Nuñez, “Malestar psicológico, apoyo familiar y resiliencia en las estudiantes de psicología ante la contingencia por COVID-19”, *Revista CUC- Ciencia Psicología y Salud*, no. 4, pp. 19-26, 2022.
- [30] R. Rodríguez y C. Martínez, “Estrés académico y resiliencia en estudiantes mexicanos de nuevo ingreso de una universidad privada”, *Educación y Salud Boletín Científico de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, vol. 10, no. 20, pp. 153-159, 2022.
- [31] Y. Rangel, M. Soto, S. Aguirre, C. Jiménez, M. Conchas, F. Mondaca y R. Nájera, “Resiliencia percibida en estudiantes universitarios comparaciones por género”, *European Scientific Journal*, vol. 15, no. 23, pp. 106-114, 2019

Identificación de competencias básicas en telecomunicaciones que requieren fortalecimiento para Ingeniería Informática del TecNM Teziutlán

A. Pérez López^{1*}, M.A. Aguilar Cortés², J. Robles Calderón³

¹Cuerpo Académico Calidad y Mejora Continua en Servicios Tecnológicos. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II S/N Aire Libre C.P. 73890, Teziutlán, Puebla, México

²Cuerpo Académico Calidad y Mejora Continua en Servicios Tecnológicos. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II S/N Aire Libre C.P. 73890, Teziutlán, Puebla, México

³Cuerpo Académico Calidad y Mejora Continua en Servicios Tecnológicos. Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, Fracción I y II S/N Aire Libre C.P. 73890, Teziutlán, Puebla, México

^{1*}adriana.pl@teziutlan.tecnm.mx, ²marco.ac@teziutlan.tecnm.mx, ³jacobo.rc@teziutlan.tecnm.mx

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

En el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, el área de telecomunicaciones, comparada con la de desarrollo de software, ha sido poco demandada por los egresados de la carrera de Ingeniería Informática que ahí se imparte, razón por la cual se busca conocer cuáles son los focos rojos que se deben cuidar en esa rama, para con ello lograr compensar la cantidad de egresados que se emplean en telecomunicaciones, sino a la par, si acercándose cada vez a los desarrolladores de software; ya que esto permitirá a la carrera y a la Institución posicionarse con profesionistas capacitados en diversas ramas de las TIC.

Se presenta a lo largo de este trabajo de investigación los antecedentes y el contexto de la propuesta, a través de conocimientos técnicos, sociales y culturales en relación a las competencias profesionales de los estudiantes universitarios, en específico de la carrera de Ingeniería Informática del Tecnológico antes mencionado.

Palabras clave: Competencias, telecomunicaciones, tecnología, educación.

Abstract

At the Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, the area of telecommunications, compared to software development, has been little demanded by the graduates of the Computer Engineering career taught there. That is why we seek to know what are the red spots that must be taken care of in that branch, in order to compensate the number of graduates who are employed in telecommunications, if not at par, if approaching increasingly to software developers. This will allow the career and the institution to position itself with professionals trained in various branches of ICT.

Throughout this research work, the background and context of the proposal is presented, through technical, social and cultural knowledge in relation to the professional skills of university students, specifically in the Computer Engineering career of the aforementioned Technology.

Key words: Competences, telecommunications, technology, education

Introducción

Al hablar de recurso humano, éste puede tener dos perfiles, aquel que se forma con la experiencia adquirida a través de la cotidianidad del trabajo y el que se forma en los procesos educativos, dentro de los sistemas educativos, sin embargo, la unión de ambos perfiles será de suma importancia para desarrollar las habilidades específicas que todo profesionista requiere en el trabajo [1]. Se han realizado a nivel mundial diversas acciones para incursionar a los profesionistas en un mundo laboral basado en competencias. Es a partir de la década de los 90 que se tomó importancia al concepto de competencia, situándose más allá del punto de vista profesional; por lo que ha surgido un modelo educativo basado en ellas [2].

Es hasta 1995, donde México ve formalizada la importancia de las competencias en la educación, creando en Consejo de Normalización y Certificación de Competencia Laboral (CONOCER), a cargo del Proyecto de Modernización de la Educación Técnica y la Capacitación (PMETYC); dicho proyecto estaba integrado por el CONOCER, SEP y STPS [3].

La importancia que han reflejado en el entorno educativo las competencias, es tal, que se han inculcado en el alumno, desde su formación inicial, con base en el marco de la reforma integral de la educación básica primaria (RIEB) en el año 2009; sin embargo, como en la mayoría de las reformas, los implicados realmente en ejercerlas pocas veces conocen la forma de implementarlas, o la interpretación realizada radica en la experiencia que poseen sobre el tema; lo mismo sucede en el ámbito educativo, donde periódicamente se realizan “mejoras” a la educación, en la cual ni directivos ni maestros tienen realmente la capacitación completa para obtener los resultados esperados. El constructivismo de Piaget afirma que el individuo es quien construye su propio conocimiento, cuando éste interactúa con el objeto de conocimiento; de la misma forma Vigotsky, considera que el aprendizaje social del sujeto se realiza en la interacción con otros y por último Ausubel, quien aseguró que el aprendizaje debe ser significativo [4].

En la actualidad la formación académica a nivel profesional, está representando un enorme reto para los catedráticos de escuelas de educación superior; ya que pueden existir dos clasificaciones de docentes; el que tiene estudios de posgrado y no ha pisado jamás una empresa donde desarrolle las competencias que ellas requieren y, el que, a pesar de la experiencia en la industria o sectores empresariales; no se ha actualizado en su formación académica; por lo que en el ámbito académico se hace indispensable llevar el aprendizaje a la práctica, puesto que los conocimientos aplicados, complementados y vinculados, generarán nuevo conocimiento, dando cumplimiento a la cita “La teoría sin práctica es palabrería y la práctica sin teoría es activismo loco” [5]. La situación no es fácil para ninguno, pues muchas veces la sombra de los procesos administrativos, documentación, estadísticas y un sinnúmero de cosas que distraen al docente de su práctica académica, lo limita a buscar las verdaderas competencias que el egresado requiere.

La creación de planes de estudio, al menos para los Institutos Tecnológicos en México, está basada en reuniones de trabajo creadas por personal directivo y docente de diferentes Institutos, con variedad de perfiles profesionales [6]; mismos que deberían tener un conocimiento fundamentado sobre las necesidades reales que las empresas requieren que lleven los egresados al momento de ser contratados; muchas Instituciones educativas han optado por la capacitación complementaria a través de certificaciones, sin embargo, muchos jóvenes aún no visualizan el verdadero objetivo de dichas capacitaciones, pues la mayoría de las veces lo ven como un requisito para su currículum y no como una oportunidad de poseer conocimientos en temas vanguardistas.

Algunos países de Sudamérica, como es el caso de Argentina, se han dado a la tarea de investigar el impacto que tiene la educación basada en competencias para la formación de ingenieros en entornos profesionales, donde, al finalizar su investigación concluyeron que el uso de plataformas tecnológicas, así como experiencias formativas profesionales, son puntas de lanza en su país para un egresado fortalecido de las competencias que la industria demanda; su metodología planteada revaloriza el aprender generando una especie de canal para lograr la movilización, construcción e integración de los conocimientos [7].

Dentro del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, se realizó la vinculación de los sectores empresarial con el educativo, esto a través del desarrollo de un proyecto que permitió la incursión de alumnos de ingeniería informática, el cual tuvo como finalidad, fortalecer sus conocimientos teóricos, a través de la implementación práctica de una solución tecnológica, a la vez que se apoyaron los procesos de producción en la empresa; lo anterior permitió determinar la importancia que representa para los alumnos, enfrentarlos a problemas reales antes de egresar. Es importante resaltar la diferencia de este tipo de proyectos, con las residencias profesionales, ya que éstas, al estar a cargo asesores externos, en la mayoría de las ocasiones a los alumnos se les asignan actividades diferentes a las que deberían realizar según su proyecto y área de desarrollo; en los que son exclusivamente de vinculación, los chicos están asesorados y apoyados por los docentes en la creación del producto tecnológico a realizar con una dedicación exclusiva al mismo [8].

Metodología

Para este trabajo se optó por la técnica de encuesta basada en la aplicación del instrumento de cuestionario, en este caso en línea, para ello se hizo uso de un formulario de Google, mismo que optimiza el tratado de la información y hace que el análisis de los datos sea más ágil.

Materiales o instrumentos de recolección de datos.

Se deben identificar las características y elementos que se piensan considerar a la hora de diseñar algún instrumento de recolección de información de acuerdo a las cualidades del mismo, el tipo de público que lo va a responder y la forma en que será aplicado. Para el tipo de investigación cuantitativa existen los siguientes instrumentos: cuestionario, entrevista estructurada, observación, escalas de actitud y opinión, estadísticas y fuentes secundarias de datos, entre otros [9].

La herramienta seleccionada para la recolección de la información a analizar, fue el cuestionario, este tiene como ventaja la reducción de sesgos por parte del entrevistador o encuestador, la desventaja se basa en que el mismo entrevistador pierde el control de las respuestas y puede perderse un gran porcentaje de las mismas [9].

Preparación

El primer cuestionario, que se muestra en las figuras 1, 2 y 3; fue aplicado a los exalumnos, hoy ingenieros Informáticos titulados en los años 2018 y 2019 de la Ingeniería Informática del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, dicho instrumento estuvo basado en 15 preguntas modelo del trabajo realizado por la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil [10], en su gran mayoría de opción múltiple y algunas dicotómicas.

Los temas a encuestar para el caso de los exalumnos, fueron:

- A. Contenidos Temáticos
- B. Residencias Profesionales
- C. Competencias
- D. Campo profesional

**CUESTIONARIO PARA EGRESADOS DE ING. INFORMÁTICA
DEL TecNM CAMPUS TEZIUTLÁN**

A. CONTENIDOS TEMÁTICOS

1. Del listado de materias que cursó en su carrera, anote después de la imagen las materias que considere importantes, poco importantes y /o que puedan suprimirse.
 1 = Puede suprimirse, 2 = Poco Importante, 3 = Importante

MATERIA		1	2
1	Fundamentos de Investigación		
2	Matemáticas discretas		
3	Fundamentos de Programación		
4	Taller de ética		
5	Cálculo Diferencial		
6	Administración para Informática		
7	Fundamentos de Sistemas de Información		
8	Física para Informática		
9	Programación Orientada a Objetos		
10	Desarrollo Sustentable		
11	Cálculo Integral		
12	Contabilidad Financiera		
13	Sistemas Operativos I		
14	Sistemas electrónicos para informática		
15	Estructura de datos		
16	Probabilidad y estadística		
17	Álgebra lineal		
18	Costos empresariales		
19	Taller de Investigación I		
20	Arquitectura de computadoras		
21	Análisis y Modelado de sistemas de Información		
22	Administración y organización de datos		
23	Fundamentos de Telecomunicaciones		
24	Sistemas Operativos II		
25	Fundamentos de bases de datos		
26	Investigación de operaciones		

2. Si calificó alguna materia con el número 1 o 2 justifique por qué le dio esa ponderación.

Su contenido era repetitivo	
El profesor no lo explicó bien	
Se le hizo difícil	
No vio la utilidad	
Otros	

3. ¿Usted cree que la rúbrica de ingeniería informática que cursó, le ha sido práctica para la vida profesional?

Si	
No	
Otros	

Figura 1. Cuestionario de egresados. Contenidos temáticos

B. RESIDENCIA PROFESIONAL

4. ¿Qué porcentaje de las actividades asignadas para efectuar la residencia profesional, considera que tuvieron que ver con áreas de telecomunicaciones (redes, seguridad, servidores)?

100%	
70 – 99%	
50 – 69%	
Menos del 50%	

5. ¿Qué tareas sobre telecomunicaciones (redes, seguridad, servidores) fueron desarrolladas en la residencia?

Cableado	
Diseño de redes	
Configuración de servidores	
Configuración de dispositivos de interconexión	
Otro del área	

6. ¿Qué dificultades encontraron en su residencia?

Restricciones de áreas	
Falta de información	
Falta de conocimiento	
Falta de orientación por el jefe de área	
Otro	

C. COMPETENCIAS

7. En cuanto a los proyectos de telecomunicaciones (redes, seguridad, servidores) usted cree que está preparado para:

Diseñar	Construir	
Asesorar	Operar	
Planificar	Mantener	
Dirigir	Fiscalizar	
Implementar	Otros	

8. En cuanto a las capacidades en telecomunicaciones (redes, seguridad, servidores) usted se encuentra preparado para: (lo que deben de saber)

Actividades	Si	No
Mantenimiento a la red cableada ANSI/TIA/EIA		
Mantenimiento a la red inalámbrica		
Configuración de servicios para aplicaciones de red		
Configuración de firewall		

9. En su formación profesional ha tenido experiencia en (campo laboral vs IT/ST)

Actividad	IT/ST		Campo Laboral	
	Si	No	Si	No
Configuración de routers				
Configuración de switches				
Configuración de redes inalámbricas				
Configuración de servidores				
Configuración de Firewall empresarial				

10. En cuanto al manejo de equipos marque en cuales se encuentra capacitado.

Equipos	
OTDR	
Multímetros	
Generador de tonos	

Figura 2. Cuestionario de egresados. Residencias y Competencias

Medidores de tierra	
Rcouter inalámbricos	
Switches	
Routers Administrables	
Firewalls	
Antenas para radioenlaces	
Probadores de cable	

11. ¿Conoce el procedimiento de la guía EPP (equipo de protección personal) para realizar trabajos de cableado estructurado?
 Si NO

12. Si contestó afirmativamente la pregunta anterior (12) en dónde recibió esta capacitación:

En la formación universitaria	
En el lugar de trabajo	
En el lugar donde realizó la residencia	
Lo investigó por su cuenta	

D. CAMPO PROFESIONAL

13. ¿En qué empresas de las que ha oído hablar le gustaría trabajar?

<input type="checkbox"/> CNT	
Movistar, Fofa, Alego	
Servicios de Televisión, TV Cable, Direct TV	
Radio difusión radio móviles radio control radio navegación	
Servicios de Internet (redes de datos)	
Su propia empresa	
Otros	<input type="checkbox"/>

14. Basados en la pregunta anterior ¿Por qué le gustaría trabajar ahí?

Por Conocimiento	
Experiencia profesional	
Desarrollo profesional	
Por Camara empresarial	
Por satisfacción personal	
Otros	

15. De acuerdo a su experiencia profesional, califique la importancia en el campo laboral de las nuevas asignaturas de la especialidad de Ingeniería Informática, con base en la siguiente escala.

1 = Puede suprimirse; 2= Poco importante; 3 = Importante; 4= Muy importante; 5= Imprescindible

Materias	1	2	3	4	5
Programación avanzada de software					
Software interactivo y videojuegos					
Cómputo en la nube					
Redes inalámbricas					
Internet de las cosas					

Figura 1. Cuestionario de egresados. Competencias y campo profesional

El segundo cuestionario, figura 4, constó solamente de 3 preguntas de opción múltiple muy concretas sobre los contenidos temáticos, éste fue aplicado a los docentes del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, que han impartido asignaturas en el área de estudio.

CUESTIONARIO PARA PROFESORES DEL ÁREA DE TELECOMUNICACIONES DEL TECN CAMPUS TEZIUTLÁN

El siguiente cuestionario es una adaptación al utilizado por Palau de la Rosa, en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. (Luis Palau De la Rosa, 2014)

1. A continuación, encontrará el listado de las materias que conforman el área de telecomunicaciones, primer bloque y de la especialidad actual en la red. Señale 3 materias que considere que debe fortalecerse:

MATERIAS ÁREA DE TELECOMUNICACIONES	MARCA
Fundamentos de Telecomunicaciones	
Tecnología e interfaces de computadoras	
Redes de computadoras	
Interconectividad de redes	
Administración de servidores	
Seguridad Informática	

MATERIAS ESPECIALIDAD ANTERIOR	MARCA
Tecnologías innovadoras	
Sistemas embebidos	
Comercio electrónico	
Seguridad en Infraestructura en TI	
Proyecto Integrador	

2. ¿Por qué razón, señaló que deberían fortalecerse?

Los alumnos no dominan esas materias.	
Es lo que necesitan para trabajar	
Les da las bases para el ejercicio profesional	
En otras universidades le dan más importancia	
No se ha actualizado los contenidos	
Otros	

3. De acuerdo a su experiencia profesional, califique la importancia en el campo laboral de las nuevas asignaturas de la especialidad de Ingeniería Informática, con base en la siguiente escala.

1 = Puede suprimirse; 2= Poco importante; 3 = Importante; 4= Muy importante; 5= Imprescindible

Materias	1	2	3	4	5
Programación avanzada de software					
Software interactivo y videojuegos					
Cómputo en la nube					
Redes inalámbricas					
Internet de las cosas					

Figura 2. Cuestionario aplicado a profesores

Desarrollo

La población de estudio fue representada por los egresados titulados de Ingeniería Informática plan 2016, del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, mismos que comprenden las generaciones de los años 2017 a 2020, con un total de 97 ingenieros egresados, 82 de ellos titulados, éstos últimos conformaron el universo; la muestra fue aleatoria, a través de una invitación informal en grupos de Messenger, del cual el 36.58% que representan a 30 egresados, respondieron el instrumento de evaluación, los que en su gran mayoría ejercen en actividades acorde a su formación profesional.

- **Preparar las observaciones, registros y mediciones obtenidas para ser analizadas**

Al analizar de manera muy general las respuestas de los encuestados, se inicia con los egresados. La figura 5, muestra los resultados de la pregunta No. 1, misma que estuvo enfocada a la percepción que tiene al egreso el Ingeniero Informático, con base al contenido temático de su plan de estudios, se les solicitó que, de las materias que ellos cursaron, seleccionaran el grado de importancia, según a su experiencia profesional actual, clasificándolas en 3 niveles. 1 = importantes, 2 = poco importantes y, 3 = pueden suprimirse.

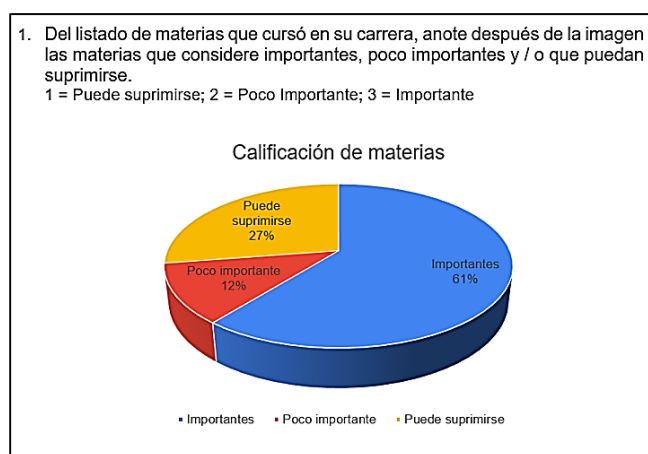


Figura 3. Importancia del contenido temático

Considerando que la retícula está constituida por 51 asignaturas, los Ingenieros Informáticos egresados del TecNM Campus Teziutlán, eligieron 32 de ellas como importantes, lo que representa el 63%, comentaron que 14 eran poco importantes dando un 27% y el 10% correspondió a 5 materias, que para ellos podrían suprimirse de la retícula.

Se destaca que las 5 materias consideradas innecesarias en la retícula, corresponden a las áreas económico-administrativas y de tronco común, como se muestra en la Tabla 1, lo que indica que el egresado percibe que las asignaturas referentes a su formación como informático han sido de ayuda para su desarrollo profesional.

Tabla 1. Nivel de importancia de materias de Ing. Informática

Materias	Nivel de importancia
<i>Desarrollo sustentable</i>	3
<i>Taller de ética</i>	3
<i>Administración de los recursos y función informática</i>	3
<i>Álgebra lineal</i>	3
<i>Cálculo integral</i>	3
Cálculo diferencial	2
Comercio electrónico	2
Estrategias de gestión de servicios de ti	2
Física para informática	2
Investigación de operaciones	2
Taller de investigación II	2

Considerando que todos los ingenieros informáticos pasaron por la etapa de desarrollar un proyecto para residencia profesional, misma que deben acreditar como requisito para poder titularse y que tiene una duración de cuatro meses como tiempo mínimo y seis como tiempo máximo, debiendo cubrir un total de 500 horas. Para la sección de residencias, se realizaron una serie de preguntas relacionadas a las actividades que desempeñaron en su periodo como residentes.

Tomando en cuenta que las empresas donde los alumnos de Ingeniería Informática del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, pueden realizar residencia profesional no son en su mayoría dedicadas a la tecnología, ya que la zona de impacto del Instituto está rodeada generalmente de empresas con variedad de giros; son sólo la minoría de residentes quienes tienen oportunidad de salir de Teziutlán y buscar una empresa enfocada al ramo de las TIC. La gráfica 6 muestra los principales giros de las empresas u organizaciones en las que se encuentra laborando los egresados del Instituto de todas las carreras que éste oferta, prevaleciendo el sector terciario con un 57% de participación [11].

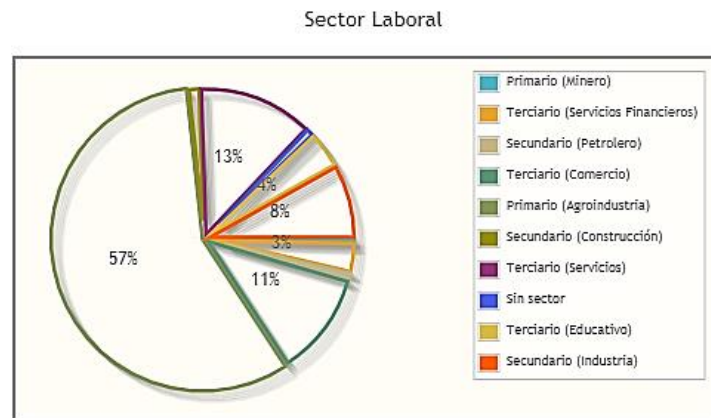


Figura 4. Gráfica del sector laboral de influencia del ITST.

La figura 7 revela que un 23.3% de los alumnos que hacen residencia, están desarrollando al 100% las competencias de las áreas que tienen que ver con las redes y telecomunicaciones, el 33.3% comentó que sus actividades referentes a la rama de redes y telecomunicaciones ha alcanzado porcentajes entre 70 y 90% mientras que el 20% de encuestados no cubre ni el 50% de sus actividades dentro de esta rama de las TIC.

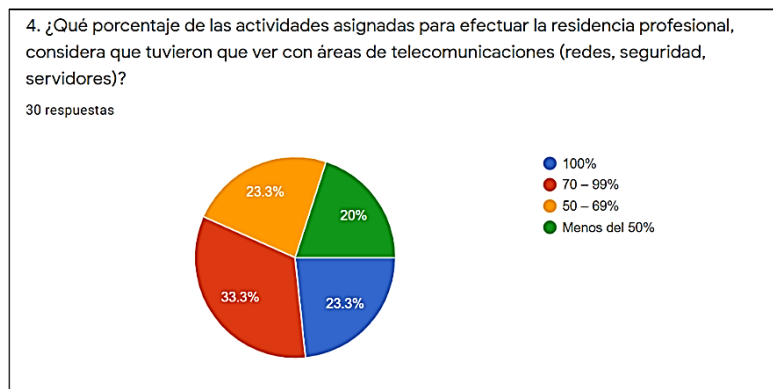


Figura 5. Actividades generales en residencia profesional

Resultados y discusión

Resultados únicos

Como el objetivo principal de este trabajo de investigación, fue identificar las **competencias** básicas del área de telecomunicaciones, que requieren ser fortalecidas; se destinó el 80% de las preguntas de la encuesta a esta sección.

La figura 8 muestra los resultados que, en relación a la capacidad de liderazgo en proyectos de telecomunicaciones, consideran posee cada uno de los ingenieros informáticos, teniendo en cuenta algunas tareas en específico. La respuesta con mayor porcentaje fue que se sienten capacitados para el diseño, representada con el 73%, seguido de un 66% que mencionaron que se sienten capacitados para la construcción; considerando de igual manera, solo las 3 respuestas con mayor demanda, se encuentra con un 53%, que los ingenieros tienen la capacidad de dar asesoría de proyectos dentro de esta área.

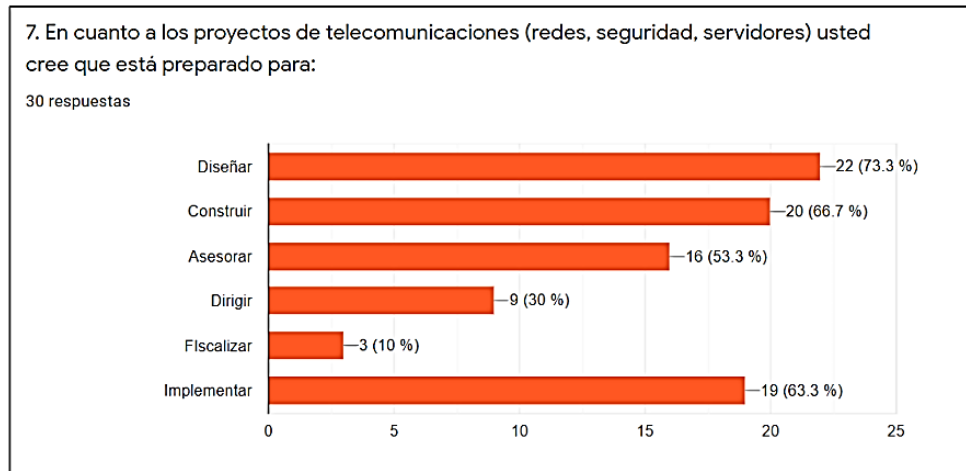


Figura 6. Capacidad de liderazgo en proyectos de telecomunicaciones

Se les preguntó acerca de las habilidades técnicas y cognitivas para la ejecución de las tareas dentro de los citados proyectos de telecomunicaciones. Las 3 respuestas más elegidas de las sugeridas fueron las siguientes: dar mantenimiento a una red inalámbrica, con un 86.7%, seguida de configuración de firewall para la seguridad de la red, quien tuvo un 60% de elección y por último los ingenieros informáticos consideran el mantenimiento a la red cableada, bajo los estándares ANSI/TIE/EIA, llegando a un porcentaje de elección del 60%.

Se les cuestionó acerca de cuáles son las habilidades que ellos manejan y sobre todo donde las aprendieron. La opción con mayor número de respuestas, fue la configuración de switches con 20; el segundo puntaje fue 13 para firewall empresarial y, por último, la configuración de servidores tuvo un puntaje de 12, y de las tres habilidades, el aprendizaje sucedió en el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.

En lo referente al grado de manejo en equipos de telecomunicaciones que los egresados informáticos tienen; el porcentaje más alto con 93.3% está asignado para los routers inalámbricos; el segundo, porcentaje lo abarcan los switches con un 83.3% y considerando los tres puntajes más elegidas, se tiene un empate entre el uso del multímetro y los probadores de cables con un 76.7%. Sin embargo, en una sección de comentarios generales, al final del cuestionario, se observó repetidamente la opinión de adquirir equipos reales, y no solo usar simuladores, que si bien, les brindaron la confianza de poder configurarlos y administrarlos, en muchas ocasiones se presentan situaciones que no se pueden encontrar en la simulación.

Otra competencia importante es el grado de comprensión en el área de seguridad informática, para lo cual se les interrogó acerca del conocimiento de la guía de equipo de protección personal para realizar trabajos de cableado estructurado, de los 30 encuestados, el 66.7% respondió que si tiene conocimiento del procedimiento y el 33.3% que no.

La sección de campo laboral tuvo la finalidad de determinar las expectativas de los recién egresados de la Ingeniería Informática, acerca de lo que será su futuro profesional, se eligieron dos preguntas que permitieran conocer sus preferencias de trabajo, fuertemente ligadas a las distintas empresas en las que regularmente pueden crecer profesional y económicamente, tanto del país como del extranjero. La figura 9 muestra los porcentajes de respuestas, de acuerdo a una serie de empresas directas del área y otras que no.

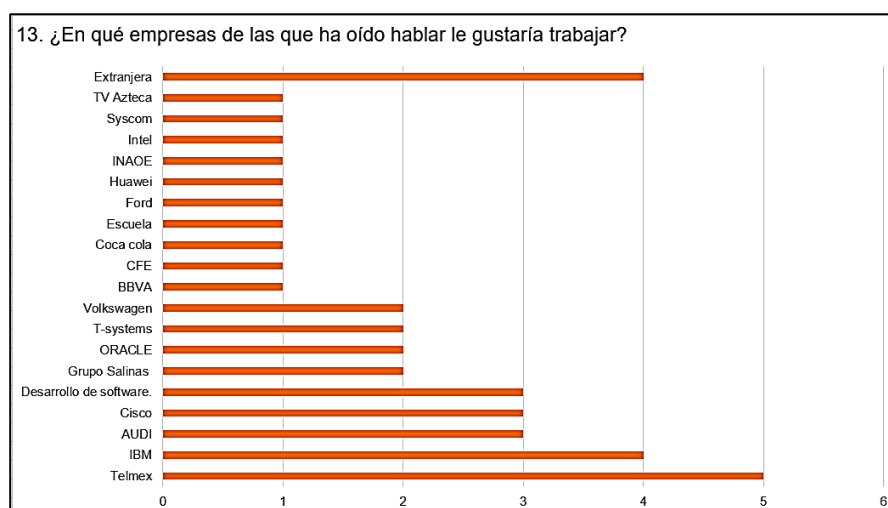


Figura 7. Empresas preferidas para trabajar

El análisis de respuestas del cuestionario de profesores es muy concreto, el total de maestros encuestados fueron 5, la primera pregunta tuvo la intención en conocer cuáles de las materias que conforman esa área de estudio, según su conocimiento y experiencia como profesores, deberían fortalecerse; el primer lugar se lo llevó la materia de fundamentos de telecomunicaciones con 3 puntos seguida de un empate entre interfaces de computadoras, administración de servidores y seguridad informática con 2 puntos y por último la materia de interconectividad de redes con 1 punto.

En relación a sus respuestas sobre las materias a fortalecer, se les cuestionaron las razones por las que fueron elegidas. La respuesta que tuvo más votación fue: “que les da las bases para el ejercicio profesional”, posteriormente “que no se han actualizado los contenidos” y por último “que es lo que se necesita para trabajar” con calificaciones de 4, 3 y 2 respectivamente; tal como se muestra en la gráfica de la figura 10.

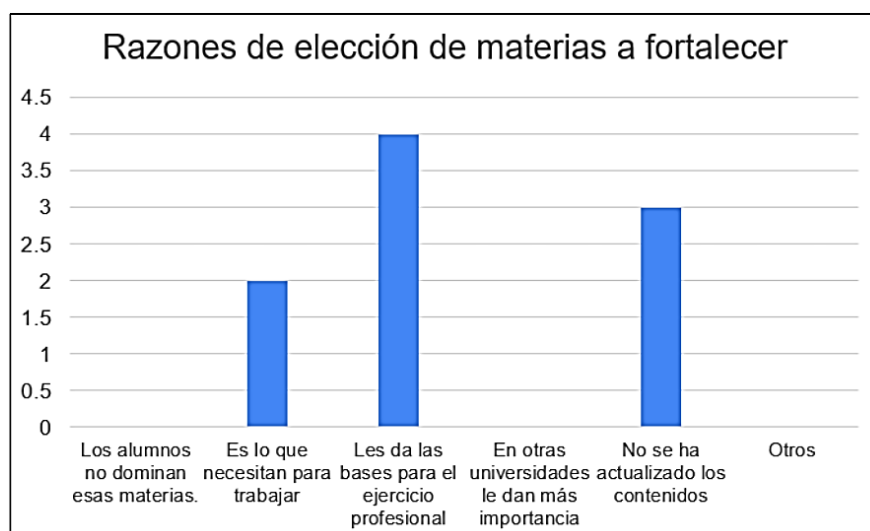


Figura 8. Razones porque fortalecer materias elegidas

Los resultados obtenidos permitieron identificar de forma directa lo que ha sido benéfico para los egresados de Ingeniería Informática de los últimos 3 años a la fecha y de lo que han carecido, no solo en el área de telecomunicaciones, sino en su formación en general; esto no significa que sea un verdad absoluta, pues ellos lo expresan con base a la experiencia que hasta ahora han tenido, sin embargo es el parteaguas a considerar para poder reforzar contenidos, competencias y formación actitudinal en los jóvenes estudiantes.

Las competencias, habilidades y capacidades dadas a conocer por los encuestados son favorables, refiriéndose al área de telecomunicaciones, pues el 93% de ellos manifestaron que la formación dentro del Instituto, les ha servido para su práctica profesional, ya que de las 51 asignaturas que cursaron, solo el 10% de las mismas

sienten que hasta la fecha no les ha sido de gran utilidad, por lo que consideran son materias que pudieron haberse omitido en su momento.

Con relación al trabajo desempeñado en su programa de residencia profesional, el 56.6 % desarrolla entre el 70 y 100% de actividades del área de telecomunicaciones, sintiéndose con la capacidad de configurar ciertos tipos de servidores de red, dispositivos de interconectividad y cableado.

De igual forma comentaron tener la confianza de realizar proyectos de telecomunicaciones en que puedan realizar el diseño e implementación de los mismos; sienten que la capacitación en la realización de dichos proyectos y tareas fue recibida dentro del Instituto Tecnológico y en otro buen porcentaje en la empresa donde realizaron residencia profesional. Sobre el manejo de herramientas y equipos consideran ser hábiles en el manejo de switches, routers inalámbricos y probadores de cables.

Por lo que, dando una clasificación general a las necesidades de fortalecimiento en el área, se puede decir que las *competencias genéricas* identificadas fueron: para las interpersonales, la habilidad en relaciones interpersonales; para las sistémicas, el aprendizaje autónomo; para instrumentales resolución de problemas y toma de decisiones.

Dentro de las *competencias específicas*, se podría centrar la atención en la que marca la materia de Interconectividad de redes, pues a la letra cita “Instala, configura y administra dispositivos de internetworking para dar soluciones eficientes de telecomunicaciones en las organizaciones” [12], lo anterior considerando que una de las principales áreas de oportunidad es el equipamiento de este tipo de recursos dentro del Instituto.

Trabajo a futuro

Con base en la investigación realizada hasta este punto, el trabajo a futuro está encaminado a realizar, en una primera etapa, la capacitación para cubrir las competencias genéricas, que fortalecerán las relaciones interpersonales del alumnado, así como una comunicación asertiva. Por el lado de las competencias específicas, se considera someter ante la Dirección de Normatividad y Evaluación Tecnológica, el proyecto “Equipamiento de Laboratorio Cisco CCNA & IoT”.

Conclusiones

Se pudo percibir que, a criterio de los egresados, las empresas requieren de habilidades y destrezas que los chicos desarrollan en la Institución, pero llevándolo a un plano de mayor practicidad y no solo en el uso de software simuladores; por lo que los programas de dualidad, son representativos para el desarrollo de estas competencias requeridas.

Cabe resaltar que en la zona de influencia del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán no se encuentran empresas dedicadas al sector tecnológico; por lo que no se llevaron a cabo encuestas a los empresarios o empleadores; sin embargo, en una reunión para el seguimiento de egresados que se encuentran en la región de Teziutlán, éstos manifestaban la necesidad de mayor capacitación y actualización no solo como alumnos, sino como egresados en un ámbito de constante cambio y desarrollo tecnológico.

Agradecimientos

A los egresados de la carrera, el más sincero de los agradecimientos por tomar parte de su tiempo libre, que ahora es poco, para dar atención al cuestionario enviado, con la finalidad de fortalecer la formación académica de las futuras generaciones de ingenieros informáticos del Tecnológico de Teziutlán, de igual forma se agradece la facilidad para responder los cuestionarios de manera objetiva al personal docente que ha impartido materias del área de telecomunicaciones en el Instituto, y por último con la misma importancia, a la coordinación de seguimiento de egresados de esta casa de estudios, por permitir conocer los resultados que se han obtenido en las reuniones con empresarios de la región, acerca de la opinión como empleadores, sobre las competencias que han demostrado las y los egresados en todas las carreras que ofrece esta casa de estudios, en las diferentes áreas donde se han podido desempeñar, ya que su opinión fue de gran valía para los resultados de esta investigación.

Referencias

- [1] G. A. Romero-olmedo and M. P. Franco-cortes, "Experiencia laboral como factor clave en la calidad educativa de carreras técnicas y tecnológicas relacionadas con el campo administrativo Work experience as key factor in the educational quality of technical and technological careers related to the admin," vol. 13, no. 2, pp. 233–248, 2022.
- [2] J. C. C. Sarabia and Paula Villalpando Cadena, "El papel de las competencias laborales en el ámbito educativo: una perspectiva de reflexión e importancia," *Daena Int. J. Good Conscienc.*, vol. 14, no. 1, pp. 30–51, 2019, Accessed: Jul. 28, 2022. [Online]. Available: [http://www.spentamexico.org/v14-n1/A3.14\(1\)30-51.pdf](http://www.spentamexico.org/v14-n1/A3.14(1)30-51.pdf)
- [3] X. Concha and G. Arredondo, "Informe Comparativo Sistemas de Evaluación y Certificación de Competencias Laborales de Las Personas en los Países de la Alianza del Pacífico: Los casos de Chilevalora de Chile, CONOCER de México, Ministerio Del Trabajo y Promoción del Empleo de Perú y el," Lima, Perú, 2020.
- [4] N. Ramírez-Escamilla and V. González-Duñez, "Estudio de la relación del modelo por competencias y crecimiento laboral en estudiantes de posgrado," *Vinculatégica*, vol. 2, no. 1, pp. 2298–2312, 2016, [Online]. Available: <http://www.web.facpya.uanl.mx/vinculategica/Revistas/R2/2298-2312 - Estudio De La Relacion Del Modelo Por Competencias Y Crecimiento Laboral En Estudiantes De Posgrado.pdf>
- [5] Y. M. H. Aguilar and A. A. Huízar, *Desafíos de Formación Normalista en Prácticas Pedagógicas actuales y emergentes*, Ediciones. 2020. [Online]. Available: https://www.dgesum.sep.gob.mx/public/ediciones/Libros/38_Desafios_de_Formacion.pdf
- [6] I. T. de Tepic, "Primer Reunión Nacional del Tecnológico Nacional de México para la Elaboración del Diseño Curricular de los Planes y Programas de Estudio," 2018. <https://www.tepic.tecnm.mx/comunicacion/boletin/850> (accessed Aug. 23, 2022).
- [7] M. J. Albert-Gómez, M. García-Pérez, and C. Pérez-Molina, "Competencias, formación y empleo. Análisis de necesidades en un programa de master en ingeniería," *Form. Univ.*, vol. 10, no. 2, pp. 43–56, 2017, doi: 10.4067/S0718-50062017000200006.
- [8] A. Pérez López, P. O. Silva Vásquez, J. Mancilla Cerezo, and A. C. Palacios García, "Vinculación empresarial para mejorar desempeño profesional en estudiantes de Ingeniería Informática del Tecnológico de Teziutlán.," *Coloq. Investig. Multidiscip.*, vol. 7, pp. 2134–2141, 2019, [Online]. Available: http://cim.orizaba.tecnm.mx/Journals/Journal_CIM_2019.pdf
- [9] L. D. M. Solís, "Métodos y técnicas de investigación cuantitativa - Investigalia," 2020. <https://investigaliacr.com/investigacion/metodos-y-tecnicas-de-investigacion-cuantitativa/> (accessed Jul. 28, 2022).
- [10] Luis Palau De la Rosa, "Análisis del perfil de ingenieros en telecomunicaciones que demanda la empresa pública y privada en contraste con el perfil profesional que ofrece la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil," Católica de Santiago de Guayaquil, 2014.
- [11] M. L. G. García, "Informe de Seguimiento de Egresados Tec de Teziutlán 2018," Teziutlán, 2018.
- [12] D. de D. e I. Educativa, "Programa de Estudios Interconectividad de redes." pp. 1–13, 2016.

Proyecto Capstone para la formación de competencias del Ingeniero Informático en TecNM/ITSLP: Caso Om@rxel

M. G. Hernández Sierra^{1*}, R. González Álvarez², D. B. Oliva Garza³, A. Mayer Sánchez⁴, A. E. Esparza García⁵

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, maria.hs@slp.tecnm.mx, ²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, reynalda.ga@slp.tecnm.mx, ³Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Luis, dubelza.og@slp.tecnm.mx, ⁴Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, antonio.ms@slp.tecnm.mx, ⁵Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, L15180935 @slp.tecnm.mx

Área de participación: Investigación educativa

Resumen

Este proyecto se llevó a cabo con la finalidad de poner en práctica la estrategia de Proyecto Capstone para fortalecer el aprendizaje de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Informática del TecNM/ITSLP en colaboración con la empresa Om@rxel, S.A. de C.V., resaltando el impacto positivo que tuvo en la formación de los alumnos.

El equipo de estudiantes contó con asesoría de maestros de las materias de Administración de Proyectos, Taller de Base de Datos y Desarrollo de Aplicaciones Web; así como un asesor externo de la empresa. Los resultados obtenidos fueron muy favorecedores tanto para los estudiantes y docentes, por los conocimientos adquiridos como para la empresa e institución con el arranque de este primer convenio en el departamento de Sistemas y Computación.

Palabras clave: Proyecto Capstone, Educación Dual, Proyecto Integrador, estrategia de aprendizaje, trabajo colegiado

Abstract

This project was carried out to putting into practice the Capstone Project strategy to strengthen the learning of the students of the Informatic Engineering career of TecNM/ITSLP in developing automated computer systems in collaboration with Om@rxel, S.A. de C.V. highlighting the positive impact it had on the training of students. The development team had the advice of the Project Management subject master, Database Workshop, and Web Application Development, along with an external advisor from the company.

With the start of the first Systems and Computing Department agreement, students and instructors were highly favored by the acquired knowledge, as well as the company and institution.

Key words: Capstone Project, Dual Education, Integrative Project, learning strategy, collegial work

Introducción

La empresa Om@rxel, S.A. de C.V., tiene un giro comercial dedicado a la venta de equipo de cómputo, consumibles y accesorios, así como a la instalación y mantenimiento de redes y paquetería comercial, de igual manera desarrollo de software a la medida para terceros.

Derivado de esto, se les presenta la necesidad de conseguir un equipo desarrollador de sistemas para empresas que den servicio de organización de eventos corporativos y sociales. Como ejemplo se toma el evento de ciclismo "Campeonato Estatal MTB S.L.P. 2022", donde la problemática se manifiesta desde el momento del registro, organización y seguimiento de los participantes del acontecimiento. Para esto, la empresa busco realizar convenio de colaboración dual con una institución educativa de nivel superior, con carreras en el área de ingeniería de

software, encontrando como oportunidad viable al Tecnológico Nacional de México (TecNM), campus Instituto Tecnológico de San Luis Potosí (ITSLP) mismo que viene ofertando la carrera de Ingeniería Informática desde el 2009 con la especialidad de Administración en Tecnologías de la Información y que cumplía con los estándares solicitados. Para llevar a cabo lo anterior, el departamento de Sistemas y Computación del ITSLP considero pertinente tomar el reto para desarrollarlo mediante un Proyecto Capstone que beneficiara a un grupo de estudiantes de dicha carrera asesorados por los maestros titulares de las materias involucradas, responsables de verificar que tuviera referencia al nivel de conocimientos que los alumnos deben dominar.

El beneficio para los alumnos radica no solo en el aprendizaje y competencias obtenidas en la realización del mencionado proyecto, sino, en generar experiencia profesional con validez curricular y la oportunidad de verse favorecidos mediante su titulación con el mismo, por la opción de "Proyecto Integral de Educación Dual" según se establece en el Capítulo 14 del Lineamiento para la Titulación Integral del TecNM versión 1.0 para los planes de estudio 2009-2010 [1], que sigue vigente a la fecha. Cabe mencionar que las materias que se relacionaron fueron como base Administración de Proyectos y como materias de apoyo, Desarrollo de Aplicaciones Web y Taller de Base de Datos.

Se eligió trabajar mediante la estrategia de aprendizaje activo, ya que como lo establecen Urrea et. al.: "Los programas de ingeniería reconocen cada vez más la importancia de incluir en sus currículos, cursos de experiencias de diseño (Capstone Design, por sus términos en inglés) como estrategia formadora y enriquecedora para los futuros profesionales." [2]

Ya que reúne las características de la dualidad empresa institución y la interacción de las materias relacionadas, pues se buscó proporcionar a los estudiantes una experiencia genuina al solucionar problemas en un contexto real y profesional, donde pudieran aplicar los conocimientos, aptitudes y habilidades blandas adquiridos en las materias que cursaron durante el periodo en que se desarrolló el proyecto y en las de semestres anteriores. De esta manera se pretendió que obtuvieran las competencias propias para su futura inserción laboral en el campo de su especialidad. Como lo argumentan Galeano et. al [3]:

Mediante la interdisciplinariedad, la investigación y los problemas de contexto, el proyecto integrador propone generar desde el aula de clase, soluciones innovadoras para la formulación y desarrollo de alternativas de solución, direccionadas a las problemáticas del entorno, lo cual permite la apropiación e integración de los conocimientos de los estudiantes del programa, direccionada hacia la innovación y el emprendimiento.

La finalidad de un sistema de información es permitir la gestión y la administración de datos de tal manera que proporcionen reportes o informes para la toma de decisiones y garantice su disponibilidad y consulta con facilidad y seguridad. Sus componentes interactúan entre sí, permitiendo una serie de procesos que consisten en: la entrada de los datos, la gestión y el procesamiento de estos, el almacenamiento y la salida para todos los interesados [4].

Dentro de los sistemas de información se considera a las aplicaciones web que según GCF Global [5] se pueden definir como: "Programas que funcionan en internet. Es decir, que los datos o los archivos en los que trabajas son procesados y almacenados dentro de la web. Estas aplicaciones, por lo general, no necesitan ser instaladas en tu computador."

En la actualidad, son cada vez más populares y su uso ha acaparado los ámbitos científico, cultural, académico, empresarial entre otros, y esto es debido a las múltiples ventajas que el usuario tiene respecto a los programas de escritorio. Entre otras son: sistema operativo multiplataforma, ejecutadas por cualquier dispositivo informático que tenga conexión a internet, no requiere de la instalación de programas, solo un navegador, las copias de seguridad son almacenadas en los servidores, la información que se genera puede ser compartida de forma simultánea por varias personas, el espacio ocupado por los datos está a cargo del servidor y es de fácil uso [6]. Los datos utilizados se archivan en una base de datos definida por Oracle [7] como: "recopilación organizada de información o datos estructurados, que normalmente se almacena de forma electrónica en un sistema informático."

Metodología

La estrategia didáctica del proyecto integrador interrelaciona los razonamientos metodológicos de los docentes de las materias implicadas, en este caso dentro del desarrollo de software, ya que tienen dominio y ponen en práctica ejes articulares de los contenidos dando significancia al estudiante y generando reflexión, unificación de criterios, relaciones inter y tras disciplinares. La retroalimentación por parte de los asesores externos, expertos en la solución de problemáticas similares, acerca a los alumnos a su próxima realidad profesional, además les fortalece la capacidad de análisis, el pensamiento multidimensional, crítico y autónomo, así como el emprendimiento, liderazgo y compromiso social.

Para la realización del proyecto integrador se utilizó el método analítico-sintético para realizar la fase del análisis con la finalidad de comprender los módulos de manera individual y su interrelación y el método inductivo-deductivo para relacionar lo particular con lo general. Con respecto al desarrollo e implementación de software se recurrió a un marco de trabajo para estructurar, planificar, controlar y probar cada parte del proceso, en este caso se utilizó la metodología Test-Driven-Development (TDD), en español; Desarrollo Impulsado por Pruebas, en la cual después de escribir el código de una determinada función o módulo se prueba y si es necesario se hacen correcciones, de lo contrario se avanza hacia el desarrollo de la siguiente fase. Esto agiliza la producción del desarrollo, ya que lo hace conciso y de alta calidad. Como lo explica Raura et.al: “Test-Driven Development (TDD) es una técnica de desarrollo de software ágil que es ampliamente utilizada.” [8]

Dentro de la Ingeniería del Software se contempló garantizar usabilidad, funcionalidad, fiabilidad, seguridad y la soportabilidad del desarrollo web y se logró realizarlo.

Como lo indica Pressmann y Maxim [9] en su libro “Software Engineering: A Practitioner’s Approach: “Cualquier producto o sistema importante es merecedor de recibir una ingeniería. Esto significa que hay que entender el problema, diseñar una solución viable, implementarla de una manera sólida y comprobarla en profundidad.”

Materiales

Para el análisis del sistema se utilizó la herramienta UML Visual Paradigm Online, ya que “es óptima para capturar los requisitos correctos y transformarlos en diseños precisos, lo que ayuda a los desarrolladores a crear el software adecuado según los requisitos” [10].

En el control de la administración del proyecto se trabajó con la herramienta Notion, el cual es un software de gestión de productos y tomas de notas. “Notion ayuda a los miembros de una empresa u organización a coordinar plazos, objetivos y asignaciones en aras de la eficiencia y la productividad” [11].

“HTML (Lenguaje de Marcas de Hipertexto, del inglés HyperText Markup Language) es el componente más básico de la Web. Define el significado y la estructura del contenido web” [12], por lo cual se empleó durante la programación del código.

Para la ejecución de los programas se recurrió a la herramienta Microsoft Visual Studio, dada su facilidad y eficacia a la hora de desarrollar aplicaciones web. “Visual Studio es un conjunto completo de herramientas de desarrollo para la generación de aplicaciones web. Utiliza un entorno de desarrollo integrado que habilita el uso compartido de herramientas y facilita la creación de soluciones en uno o varios lenguajes” [13].

El sistema web requirió utilizar una base de datos y un Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD). Para comprender el significado de base de datos, se atiende lo que indica R. Quintana [14]:

Las Bases de Datos juegan un papel importante en la mayoría de las áreas donde se utilizan computadores, permitiendo almacenar grandes volúmenes de datos acerca de la empresa, los cuales son percibidos a través de los usuarios, de la misma manera la información obtenida de los datos almacenados debe estar en una forma que sirva para administrar, planear, controlar y tomar decisiones dentro de una organización.

Por otra parte, el SGBD lo define Oracle [7] como:

Interfaz entre la base de datos y sus programas o usuarios finales, lo que permite a los usuarios recuperar, actualizar y gestionar cómo se organiza y se optimiza la información. Facilita la supervisión y el control de las bases de datos, lo que permite una variedad de operaciones administrativas como la supervisión del rendimiento, el ajuste, la copia de seguridad y la recuperación.

En este caso se utilizó MySQL por ser de “código abierto diseñado para procesar gran número de consultas y transacciones, posee flexibilidad bajo demanda” [13].

Cabe mencionar que el diseño y desarrollo de este proyecto se hizo en las herramientas mencionadas por necesidades de la empresa, ya que su portal trabaja bajo esos estándares.

El código ejecutable resultante se incrustó en el dominio dentro de la página de la empresa Om@rxel, S.A. de C.V. utilizando sus servidores, en la dirección Uniform Resource Locator (URL): <https://www.omarxel.com/>

Desarrollo

El Proyecto Bike, consistió en una página web con los siguientes módulos:

1. Módulo de Registro de participantes al evento. En este módulo, como se observa en la Figura 1, el participante captura sus datos generales: nombre completo, número telefónico y otro para emergencias, así como el nombre de la persona que atiende, correo electrónico, peso en kilogramos, ciudad y estado de residencia y contraseña para ingresos posteriores. También solicita la CURP y en caso de no conocerlo da la opción para acceder al sitio oficial para consultarlo. Así como los datos que conciernen a la competencia: categoría y nombre del equipo.

The image shows a web registration form with the following elements:

- Input field: Ingrese CURP
- Link: ¿NO CONOCE SU CURP? CONSUELTA AQUI
- Input fields: Nombre(s), Apellido paterno, Apellido materno
- Input fields: Ingrese su número, Número de emergencia, Nombre contacto de emergencia
- Input fields: Ingrese su correo, Ingrese su peso, Seleccione una categoría (dropdown menu)
- Input fields: Ingrese su contraseña, Confirme su contraseña, Ingrese el nombre de su equipo
- Dropdown menus: Estado del que nos visita, Ciudad de la que nos visita
- Button: registrarse

Figura 1. Pantalla de captura de datos de registro
Fuente: Elaboración propia.

Al terminar de proporcionar los datos solicitados, el sistema proporciona el número de cuenta bancaria para realizar el depósito del pago de la inscripción, así como un folio consecutivo de referencia, el cual es individual, ya que corresponde al número de competidor. Con estos datos la persona busca las diferentes opciones para realizar la transferencia bancaria y debe volver a entrar al sistema, ahora con su CURP como usuario y la contraseña que proporciono para subir la evidencia del pago (archivo en formato: pdf, jpg o png).

Dentro del personal de la empresa, se designó a un encargado que diariamente obtiene un reporte que proporciona el sistema, donde revisa los documentos de comprobación de pago y una vez verificado que el depósito se encuentre validado dentro de la cuenta bancaria, procede a ponerle el estatus correspondiente para liberarlo del adeudo. El competidor debe verificar, en un plazo de 24 horas como lo indica el sistema, que el pago se encuentre aceptado y con este paso termina el registro.

Se desarrolló un diagrama UML de casos de uso, donde se tienen dos actores. Estas acciones se observan en la Figura 2, mostrada a continuación:



Figura 2. Diagrama UML de casos de uso del primer módulo.
Fuente: Elaboración propia

De esta manera se realizó de manera clara, sencilla y concreta la interpretación de la funcionalidad del módulo para que ambos usuarios; participante y administrador, pudieran acceder al sistema y los desarrolladores programar y probar cada submódulo antes de liberarlo. Cumpliendo con las estipulaciones especificadas y entregando en el tiempo acordado.

En lo referente al diseño de la base de datos, realizado por los alumnos en MySQL, en el módulo de registro requirió de 3 tablas relacionadas entre sí, la Figura 3 indica el diagrama relacional que se utilizó.

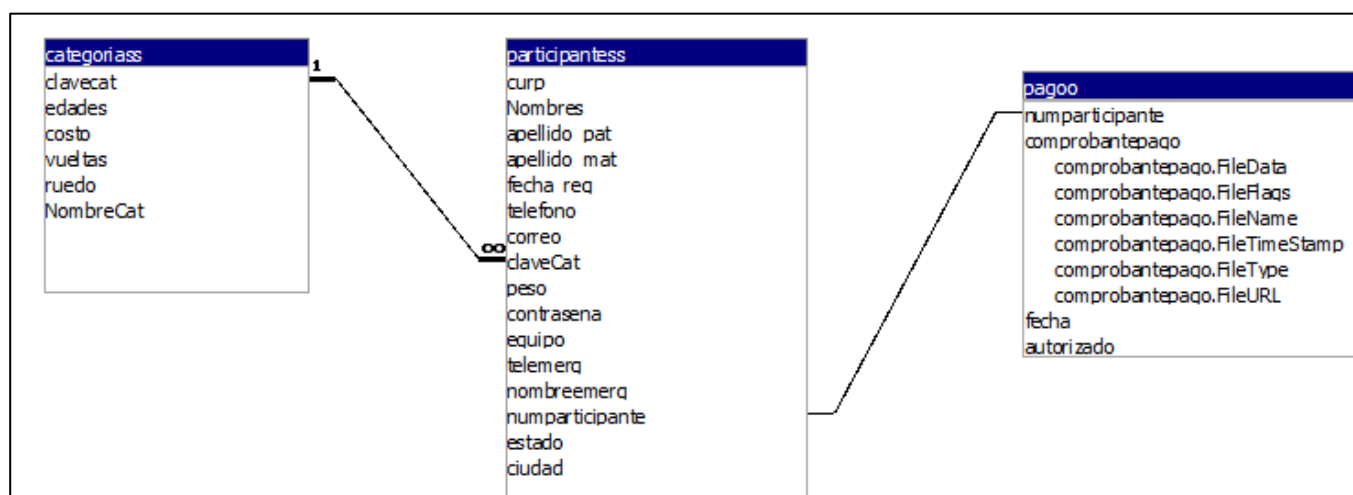


Figura 3. Diagrama relacional de las tablas del primer módulo en MySQL
Fuente: Elaboración propia

2. El segundo módulo se utilizó durante el desarrollo de la competencia. En este evento, los competidores arrancan de la línea de meta según su categoría y entonces en el sistema se pone en marcha el cronómetro correspondiente. En cada vuelta que da el ciclista, el tiempo es registrado de forma manual y después proporcionado a un capturista para registrarlo en el sistema. Al término de la competencia y una vez capturados todos los tiempos, se procede a la exportación de los datos a una hoja de Microsoft Excel, donde el administrador del sistema establecerá filtros y ordenamiento para el análisis de resultados y así poder dar a conocer ganadores en cada categoría y algunos otros datos estadísticos: categoría con más participantes, número de competidores

con tiempos finales mayores al promedio y los informes que se requieran. En la Figura 4 se observan los diferentes cronómetros, uno por cada categoría, se irán inicializando en diferente momento según el arranque y al final se obtendrá el lapso de minutos y segundos para cada categoría.



Figura 4. Pantalla de temporizadores por categoría de competencia.
 Fuente: elaboración propia

Concerniente al módulo de registro de tiempos, en el diseño de la base de datos se añadió 1 tabla, como se observa en la Figura 5, el diagrama relacional final consta de 4 tablas.

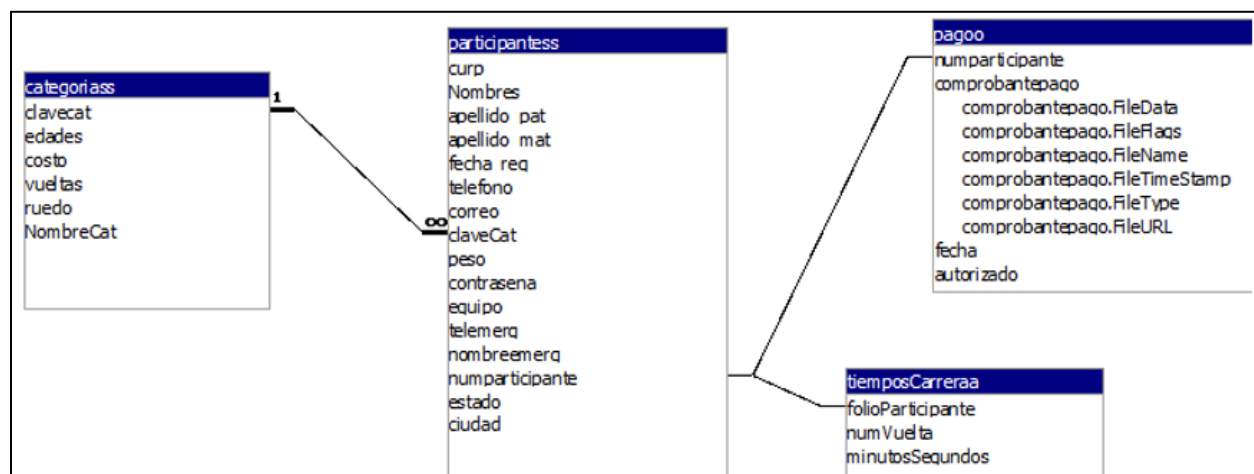


Figura 5. Diagrama relacional de las tablas del sistema en MySQL
 Fuente: elaboración propia

Durante la utilización del módulo de registro, los estudiantes estuvieron atendiendo dudas de los usuarios y del administrador del sistema por parte de la empresa.

En el evento en vivo, estuvieron auxiliando en la captura de los tiempos de los competidores en cada vuelta y en la generación de los informes a través de tablas dinámicas sobre los datos exportados a Microsoft Excel.

Resultados y discusión

Primeros resultados

La primera sesión se realizó de manera virtual por estar todavía en confinamiento, en esta los representantes de la empresa (incluida una exalumna de la misma carrera) expusieron sus necesidades y fechas de entrega. A partir de esto, se procedió a la realización del análisis de la problemática planteada y un cronograma de actividades por parte de los alumnos, a fin de cumplir en tiempo y forma con lo solicitado.

En la siguiente reunión los estudiantes presentaron su primera propuesta de análisis considerando las herramientas de software a utilizar, así como el diagrama UML de casos de uso, diseño de pantallas y base de datos. Encontrando discrepancias no mencionadas anteriormente por el cliente como son las herramientas de desarrollo específicas indicadas en párrafos anteriores y por las cuales se tuvo que rehacer el avance. Para ese momento, las entrevistas fueron presenciales, donde se establecieron las adecuaciones finales solicitadas por la exalumna como asesor externo.

Posteriormente, los avances se pusieron a consideración por parte del equipo desarrollador tanto a asesores internos (docentes) como a representantes de la organización. Cabe mencionar que por el carácter de la reunión se realizaron de manera virtual. Una vez probada y liberada, la primera fase se puso en operación y se procedió a desarrollar la siguiente. El último módulo se concluyó antes del evento, a fin de realizar un simulacro y en caso de requerirse realizar los últimos ajustes.

Últimos resultados

Al utilizar un enfoque sistémico, disciplinado y cuantificable, se entregaron ambos módulos del proyecto en tiempo y forma, logrando los resultados esperados y recibiendo las felicitaciones por parte de la empresa. Los beneficios del uso del sitio web, específico Proyecto Bike, son:

- Agilización del registro de los competidores.
- Por contingencia, prevención de contagios y de tiempo empleado para asistir a registrarse en el lugar donde reside la organización.
- Practicidad en la gestión de la información de los usuarios registrados para la competencia.
- Seguridad y control de los datos.

Trabajo a futuro

Después de la finalización de la operación de la página web, se tuvo otra reunión virtual para evaluar los resultados y estrategias de mejora para esta entrega:

1. Realizar el sistema como una aplicación móvil para que la página sea responsiva, lo que significa que se pueda acceder desde cualquier tipo de dispositivo para este fin.
2. Utilizar la computación en la nube para el almacenamiento tanto del código del programa como los datos.
3. Definir los reportes o informes necesarios, para realizar un módulo que permita obtenerlos sin necesidad de la manipulación de los mismos en Microsoft Excel.

Conclusiones

Fue la primera experiencia de la carrera dentro de la institución en Proyecto Capstone. Los cursos de estas materias se dictaban en forma aislada, sin relacionarlos, y la visión de integración logró acercar a los alumnos a la realidad laboral. Hay entregables en fechas específicas y retroalimentación por parte de los tres profesores, el

personal de desarrollo de software de la empresa y de los directivos, lo que maximiza la experiencia académica del discente.

La temática del proyecto está alineada con las tendencias y necesidades de todo tipo de empresa que requiera una página web como apoyo en la automatización de algún proceso, lo que permite mantener actualizados a los estudiantes en su profesión, y desarrollar en ellos competencias que les permiten abordar de una forma ordenada y rigurosa los proyectos. Se emplearon herramientas informáticas de uso actual, lo que permitió que conocieran y dominaran su uso.

Los conocimientos puestos en práctica fueron:

1. Desarrollo e implementación de sistemas de información: elaboración de análisis de la problemática, seguimiento del ciclo del desarrollo de software, manejo de la información y elaboración de diagramas.
2. Desarrollo de aplicaciones Web: programación en Visual Basic utilizando el editor HTML y conectividad con la base de datos de MySQL.
3. Taller de base de datos: Implementación y vinculación de una base de datos para capturar la información de los participantes.
4. Administración de Proyectos: utilización de la herramienta Notion y comprensión de cada una de las fases.

La oportunidad de aplicar la estrategia de aprendizaje fue enriquecedora para todos los involucrados.

Para la empresa contribuir de manera activa en la formación de los estudiantes y tener la oportunidad de medir el desarrollo y comportamiento de los participantes durante el proyecto para en un futuro poder emplearlos, sin necesidad de diagnóstico y con esto eliminar la rotación de su personal.

Para la institución generar este tipo de convenios de vinculación permite crear lazos de cooperación que generan oportunidades para ofrecer a los demás alumnos un banco de proyectos para realizar servicio social y residencia profesional.

Para los docentes la interacción con exalumnos insertados en el contexto laboral les permite ampliar el panorama de su práctica, así como mejorar el desarrollo de los proyectos integradores posteriores.

Los alumnos reconocen que con la metodología de proyecto Capstone se incrementó su aprendizaje, creatividad, se fortalecieron sus competencias para la investigación, toma de decisiones, trabajo autónomo y colaborativo, obteniendo preparación complementaria para su desarrollo profesional.

Dentro de la formación académica se logró:

- Fortalecer la formación profesional de los discentes en cuanto a los conocimientos técnicos aprendidos en la institución como las habilidades blandas de comunicación, sociabilización, trabajo bajo presión, desarrollo en equipo, formalidad de tiempos de entrega.
- Acercar a los estudiantes a la realidad de su ejercicio profesional.
- Lograr que los educandos reciban retroalimentación de pares expertos: docentes y personal de la empresa dedicados al área de desarrollo de software.

Agradecimientos

Al equipo de trabajo y directivos de la empresa Om@rxel, S.A. de C.V. por hacer posible la concertación del convenio y el desarrollo del proyecto.

A la institución por permitir las facilidades para la colaboración empresa-institución.

A los docentes por la disponibilidad de tiempo prestada dentro y fuera de sus tiempos y área de trabajo.

Referencias

- [1] Instituto Tecnológico de Gustavo A. Madero, Tecnológico Nacional de México, «Lineamientos para versión 1.0 Planes de Estudio 2009-2010», 2020. En línea]. Disponible en: <https://gamadero.tecnm.mx/lineamientos.php>

- [2] Urrea, C., Duque, J. y Vásquez, E., «Capstone design en los programas de ingeniería: Una revisión sistemática.» *Hamut'ay*, 8 (2), 31-42, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.21503/hamu.v8i2.2288>
- [3] C. Galeano, W. Zamudio, V. Duro-Nova, A. Martínez, «El potencial pedagógico del proyecto integrador como estrategia de aula: estudio de caso en el programa de Tecnología Industrial de la Universidad de Santander (UDES),» *Revistas UCC*, 2017. [En línea]. Disponible en: [https://revistas.ucc.edu.co/html_revistas/IngSol/13\(22\)/13\(22\)10/13\(22\)10.html](https://revistas.ucc.edu.co/html_revistas/IngSol/13(22)/13(22)10/13(22)10.html).
- [4] R. Peiró, «Sistema de información - Qué es, definición y concepto» *Economipedia.com*, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/sistema-de-informacion.html>.
- [5] GCF Global, «Informática Básica: ¿Qué son las aplicaciones web?» 2022. [En línea]. Disponible en: <https://edu.gcfglobal.org/es/informatica-basica/que-son-las-aplicaciones-web/1/>.
- [6] J. Molina, J. Honores, N. Pedreira-Souto, H. Pardo, «ESTADO DEL ARTE: METODOLOGÍAS DE DESARROLLO DE APLICACIONES MÓVILES STATE OF ART: MOBILE SOFTWARE DEVELOPMENT METHODOLOGIES» *3Ciencias*, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2021/06/art.1_3C-Tecnologi%CC%81a-Ed.38-vol.10-n.2-1.pdf
- [7] Oracle, «Qué es una base de datos» 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.oracle.com/mx/database/what-is-database/>
- [8] Raura, G., Pons, C., Fonseca C., E., & Dieste, O. 2022. ¿Qué factores personales afectan a la calidad y productividad de TDD? Un experimento con profesionales. *Electronic Journal of SADIO (EJS)*, 21(2), 42-59. [En línea]. Disponible en: <https://ojs.sadio.org.ar/index.php/EJS/article/view/219>
- [9] Pressman, R., Maxim B., «Software Engineering: A Practitioner's Approach 9th Edition», 2020. Ed. Mc Graw- Hill. ISBN-13 978-1259872976
- [10] Capterra, «Visual Paradigm - Opiniones, precios y características» 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.capterra.pe/software/145716/visual-paradigm>
- [11] J. Caleibo, «¿Qué es Notion?» *Notion*, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.notion.so/Qu-es-Notion-bd5c88a4ec254793b4da2e9cdc31f770>
- [12] moz://a. «HTML: Lenguaje de etiquetas de hipertexto | MDN» *MDN Web Docs*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTML>
- [13] Microsoft, «Conozca la familia Visual Studio» *Visual Studio: IDE y Editor de código para desarrolladores de software y Teams*, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://visualstudio.microsoft.com/es/>
- [14] R. Quintana. «Bases de datos y su importancia dentro de una Organización.» *Gestiopolis*, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.gestiopolis.com/bases-datos-importancia-dentro-una-organizacion/>

Estudio de la modalidad virtual y su impacto en una comunidad universitaria por la pandemia

Y. Santana Cardoso*, F. Y. García Hernández², A. Tecolapa Crescencio³, J. L. Pintor Flores³

¹ Programa Educativo de: Tecnologías de la Información Correo: ysantanac@utrng.edu.mx

² Programa Educativo de: Contaduría. Correo: fgarciah@utrng.edu.mx

³ Programa Educativo de: Desarrollo de Negocios. atecolapac@utrng.edu.mx y jpintorf@utrng.edu.mx
Unidad Académica en la Región de la Montaña, Carretera Chilapa-Zitlala desviación a Tecoyutla S/N, Chilapa de Álvarez, Gro., perteneciente a la Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero, Av. Catalina Pastrana s/n, C.P 40025 Iguala de la Independencia, Guerrero, México.

Área de participación: Investigación Educativa.

Resumen

Este artículo es el resultado de una investigación realizada en la Unidad Académica en la Región de la Montaña (UARM), ubicada en Chilapa de Álvarez, Guerrero, México, dependiente de la Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero (UTRNG), misma que tiene por objeto el conocer cómo percibe el alumnado al llevar a cabo su proceso académico de manera virtual. El trabajo es de metodología mixta y utiliza un cuestionario con 20 ítems, con una muestra de 145 estudiantes de los tres programas educativos que se ofertan en la UARM y concluye con resultados significativos los cuales muestran que, en su mayoría, los alumnos aceptan este tipo de educación porque la consideran una característica propia de un mundo globalizado donde el dominio de las tecnologías digitales son un elemento clave para lograr una plena profesionalización académica, y proporciona ventajas frente a la actual pandemia originada por el COVID-19.

Palabras clave: Programa Educativo, Modalidad virtual, Profesionalización, Pandemia.

Abstract

This article is the result of a research carried out at the Academic Unit of the Mountain Region (UARM-Spanish acronym) belonging to the Technological University of the North Region of Guerrero (UTRNG-Spanish acronym), and it has the main objective to know how the students perceive their academic process through virtual media. The work is of mixed methodology and used a questionnaire of 20 items with a sample of 145 students from the three educative programs that are offered by the UARM, which concluded to significant objectives where most of the students accepted this type of education because they considered it as a proper characteristic of a globalized world and the domain of the digital technologies it is a key element to achieve a plenty academic professionalization and, it was also mentioned, provides advantages against the present pandemic originated by the COVID-19.

Key words: Educative Program, Virtual Modality, Professionalization, Pandemic

Introducción

El sistema de educación superior está constituido por universidades públicas (independientes o del Estado), instituciones técnicas públicas e instituciones o universidades técnicas privadas [1]. "Las Universidades Tecnológicas y Politécnicas (UTyP) de nuestro país son Organismos Públicos Descentralizados" [2] donde la participación presupuestaria es bipartita 50% lo representa la aportación del gobierno federal y el otro 50% el gobierno estatal. La educación universitaria en este subsistema de UTyP, en la actualidad se obtienen dos grados; Técnico Superior Universitario (TSU) y Licenciatura y/o Ingeniería. El impacto que ha tenido en la enseñanza superior la Pandemia por el COVID-19, ha sido notorio y pasó de ofertar una educación universitaria presencial en las universidades, a la incorporación de herramientas tecnológicas o digitales como parte de una educación virtual, donde las autoridades universitarias inicialmente se ocuparon por incorporar herramientas que de manera institucional solventara el hecho de que docentes y alumnos comenzarían con una etapa distinta, ahora en confinamiento, para enfrentar los nuevos retos educativos, psicológicos, emocionales y de salud pública.

En los dos últimos años derivado de la pandemia COVID-19, la Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero y su Unidad Académica en la Región de la Montaña orillaron a trabajar en una modalidad virtual, con un objetivo en común para contar con una plataforma que fuera la herramienta principal de apoyo para los docentes y alumnos; donde se visualizara el desarrollo de las aulas virtuales que en su contenido se alineara con los planes y programas de estudio y de evaluación de aprendizaje de cada Programa Educativo. Este esfuerzo estuvo coordinado para elaborar nuevas estrategias, productos, modelos y material digital tanto de la parte administrativa como docente con la finalidad de garantizar la educación de calidad.

Es por ello, que en la actualidad en este regreso seguro a clases presenciales, y con el alza de casos por la mutación del virus que dio origen a la pandemia del COVID-19, se hace el análisis correspondiente para ver el avance de los estudiantes y docentes con la asistencia de la tecnología, específicamente con el uso de la internet y las herramientas digitales educativas como lo es Google Classroom, Meet y Zoom, donde se interactuó durante el confinamiento; como una manera de identificar y poder seguir asistiendo o proponiendo una ruta apropiada en el uso de las plataformas digitales. Además, es preciso señalar que, en la actualidad desde la aparición de las redes sociales, estas han servido como un medio que ayudan a realizar el acompañamiento efectivo de cada universitario y docente; que permiten la expresión de ideas, conocimientos y experiencias. En este marco conceptual el registro de la actividad del uso de la plataforma Google Classroom con una cuenta de correo institucional, se convierte en una herramienta indispensable, para dar paso a la discusión de cómo mejorar en la educación universitaria que fomente una cultura donde el conocimiento se comparta de manera más eficiente y colaborativa. Al final, se deja una discusión dónde se plantea el uso de nuevas tecnologías que hoy en día son indispensables en la vida universitaria, social y empresarial.

Metodología

El estudio se centra en una investigación mixta probabilística estratificada, según H. Sampieri [3, p. 207], describe que el utilizar dicho método hace referencia al análisis de datos cuantitativos y cualitativos así como su integración y discusión de los datos, centrada en recabar la información de la comunidad estudiantil, el análisis de tres fases se utilizaron para la presente investigación: La primera se reconoció el objeto de estudio, en la segunda se llevó a cabo una revisión de la literatura alusivo sobre el impacto COVID-19 específicamente en el proceso de enseñanza-aprendizaje, en la tercera y última se realizó un análisis de los datos obtenidos de la aplicación de la encuesta en línea utilizando la herramienta de Google forms para obtener la información acerca de los recursos pedagógicos en tiempos de pandemia.

Tamaño de la muestra

El análisis se realizó sobre un estudio de la modalidad virtual y su impacto en la pandemia en la Unidad Académica de la Región de la Montaña, con estudiantes de TSU., en Contaduría, Desarrollo de Negocios y Tecnologías de la Información y de nivel Licenciatura de los programas educativos de Contaduría, Innovación de Negocios y Mercadotecnia e Ingeniería en Desarrollo y Gestión de Software, con un total de 156 alumnos: 90 mujeres y 66 hombres. Se utilizó una calculadora [4] para determinar el tamaño de la muestra con un nivel o índice de confianza para una proporción (margen absoluto), así mismo en la tabla 1 se describe la ecuación estadística.

Tabla 1. Ecuación estadística para determinar el tamaño de la muestra.

$n = \frac{N \cdot Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}$ $n = \frac{156 \cdot 97.5\% \cdot 50\% \cdot 50\%}{2.5\%^2 \cdot (156 - 1) + 97.5\% \cdot 50\% \cdot 50\%}$ $n = \frac{156 \cdot 4.096576 \cdot 0.5 \cdot 0.5}{0.000625 \cdot (155) + 4.096576 \cdot 0.50 \cdot 0.50} = 142.52$	<p>Donde:</p> <p>n= Tamaño de muestra buscado N= Tamaño de la población o Universo (156) Z= Parámetro estadístico que depende de nivel de confianza (NC) (97.5%) e= Error de estimación máximo aceptado (2.5%) p= Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito) (50%) q= probabilidad de que no ocurra el evento estudiado (50%).</p>
---	--

Por todo lo anterior, se concentraron un total de 145 respuestas que representan el 93% de acuerdo al total de la matrícula que consta de 156 alumnos de ambos de niveles: TSU y Licenciatura y/o Ingeniería, cabe mencionar

que el nivel de confianza asignado en la investigación fue de 97.5% igual a 142 de tamaño de muestra, del cual éste fue superado a 145 alumnos.

Materiales y preparación

Se diseñó un Cuestionario digital para la obtención de la información, utilizando la herramienta gratuita que ofrece Google forms con 20 items, que permitieron obtener información de una manera ágil, en tiempo real, concreta y oportuna, para el estudio del uso de los recursos e impacto en las aulas virtuales, 13 items hacen referencia a preguntas de carácter general precodificadas, siete con influencia directa a la temática de las cuales cuatro son de mayor relevancia, fue aplicado durante la semana del 18 al 22 de julio del 2022, de acuerdo a la tabla 2 se recabaron las respuestas de 145 participantes que contestaron de un total de 156 alumnos.

Tabla 2. Distribución de la muestra por Programa Educativo, Nivel y Cuatrimestre.

Programa Educativo	Nivel	Cuatrimestre	Número de Alumnos
Contaduría	TSU	Tercero	27
	TSU	Sexto	19
Desarrollo de Negocios, área: Mercadotecnia	TSU	Tercero	10
	TSU	Quinto	6
	TSU	Sexto	6
	TSU	Tercero	16
Tecnologías de la Información, área: Desarrollo de Software Multiplataforma	TSU	Quinto	2
	TSU	Sexto	9
Contaduría	Licenciatura	Noveno	19
Innovación de Negocios y Mercadotecnia	Licenciatura	Noveno	14
Ingeniería en Desarrollo y Gestión de Software	Ingeniería	Noveno	13
	Ingeniería	Doceavo	4
Total de alumnos			145

Resultados y discusión

De las interrogantes contestadas en la encuesta en línea, se consideran de mayor importancia y determinantes los ítems: 7, 12, 16 y 20, para identificar el nivel de conformidad de uso del instrumento de evaluación de análisis estadístico, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5 y figuras: 3, 4 y 5, que permitieron detectar hallazgos para evaluar el proceso de enseñanza-aprendizaje durante la emergencia sanitaria [5]. Los resultados que se presentan están clasificados en tres partes, en la primera se muestran datos generales: Nombre del Programa Educativo (PE), Cuatrimestre, Género, Edad y si cuenta con algún tipo de discapacidad. En la segunda parte se aborda las herramientas tecnológicas con las que cuenta y utiliza, los retos que se ha enfrentado el estudiante y los medios que utiliza para informarse sobre las actividades escolares. En la tercera y última parte se pregunta sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje, es decir: sobre si hubo contacto con los Profesores, percepción en la metodología, recursos didácticos e instrumentos de evaluación que implementan los docentes, ventajas y desventajas de las clases virtuales, disponibilidad de que el alumno asista a la UARM para las clases presenciales y opinión sobre si los docentes deben de continuar utilizando aquellas herramientas tecnológicas, estrategias y técnicas utilizadas durante las clases híbridas. En la tabla 3, se muestra la distribución porcentual de la comunidad estudiantil que respondieron la encuesta en línea de acuerdo al nivel educativo en el que se encuentran inscritos y por género basada en tres opciones de respuestas: hombres, mujeres y otro, teniendo una participación de 40 hombres, 55 mujeres del nivel TSU, que representan el 42%, 58% respectivamente. Para el nivel educativo de Licenciatura y/o Ingeniería, 23 hombres y 27 mujeres, es decir 46% y 54% correspondiente del total de las respuestas.

Tabla 3. Distribución porcentual de la participación de hombres y mujeres por nivel educativo.

Nivel Educativo	Hombres	%	Mujeres	%	Otro	%
TSU	40	41	55	58	0	0
Licenciatura/Ingeniería	23	46	27	54	0	0

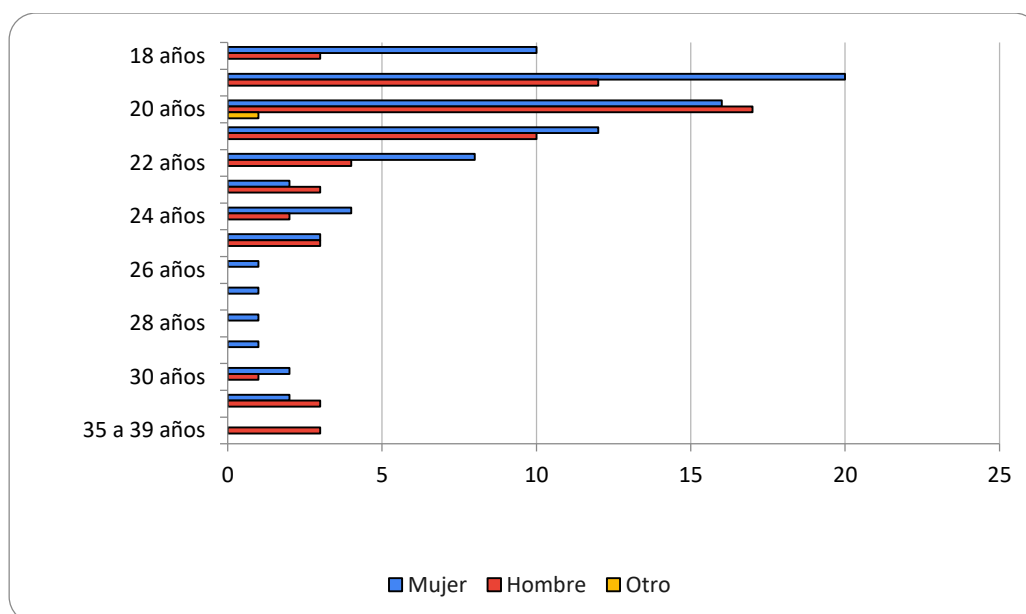


Figura 1. Distribución porcentual de la participación de hombres y mujeres por grupo de edad.

En la tabla 4, se observa dominante con un 87% que, entre la comunidad estudiantil no existe ningún tipo de discapacidad, sin embargo, el 11% de los alumnos cuentan con discapacidad visual, es decir usan lentes oftálmicos para corregir o mejorar los problemas de visión. Por último, con el 1% los alumnos presentan alguna discapacidad relacionada con la movilidad y otras discapacidades relacionadas con limitaciones sensoriales, trastornos neurológicos y psicosociales.

Tabla 4. Ítem 5. Indique si cuenta con alguna discapacidad.

Tipo de discapacidad	Hombres	%	Mujeres	%	Otro	%	% Total
Ninguna	51	35	74	51	1	1	87
Discapacidad visual	10	7	6	4	0	0	11
Discapacidad relacionadas con la movilidad	1	1	1	1	0	0	1
Otras discapacidades	0	0	1	1	0	0	1

Durante el confinamiento, se implementó la modalidad educativa a distancia en la UARM el cual consiste que el proceso de enseñanza-aprendizaje se realiza de manera virtual. Por lo tanto, los dispositivos o equipos electrónicos y el acceso al internet son primordiales para que la comunidad estudiantil continuara con las clases a distancia. En la tabla 5, el 70% de los estudiantes utilizan una computadora portátil, laptop o notebook para atender las clases a distancia, el 15% de la comunidad estudiantil, un celular inteligente (Smartphone) fue utilizado para atender las clases, el 11% utilizó computadora de escritorio, el 1% utilizó Tablet y el 3% no tuvo acceso a ningún tipo de dispositivo.

Tabla 5. Ítem 7, El aparato o dispositivo que utilizó principalmente para sus actividades escolares o clases a distancia.

Tipo de dispositivo o equipo electrónico	Total de alumnos	Porcentaje
Computadora portátil (laptop o notebook)	102	70
Celular inteligente (Smartphone)	22	15
Computadora de escritorio	16	11
Ninguna	4	3
Tablet (pantalla táctil)	1	1

La comunidad estudiantil aseveró que actualmente usa un dispositivo o equipo electrónico, el 11% de los alumnos no continuó con el proceso de enseñanza-aprendizaje a distancia, mientras el 89% ingresó a clases virtuales y por lo menos una vez a la semana tuvo contacto con sus maestros, como se muestra en la figura 2.

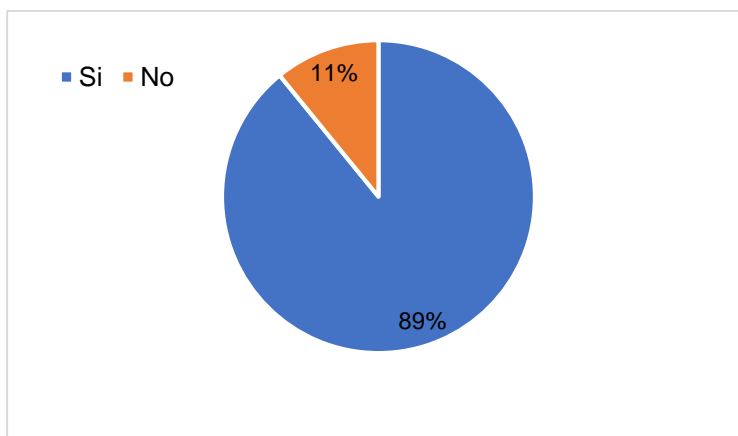


Figura 2. Item 10, Continuó teniendo clases o contacto con su(s) maestro/a(s) al menos una vez por semana.

La transición hacia a la modalidad virtual se visualizaron dificultades y carencias, por todo lo anterior la opinión de la comunidad estudiantil fue fundamental en la siguiente pregunta ¿En qué grado se modificó la metodología de enseñanza-aprendizaje durante las clases a distancia?, el 47% de la comunidad estudiantil afirmó que cambió demasiado debido a la adaptación de las herramientas tecnológicas, cerca del 35% indicó que cambió un poco sin embargo, no se vio afectado en las expectativas de los alumnos. El resto indicó que no hubo cambio alguno en la forma de enseñanza-aprendizaje. Los resultados se muestran en la figura 3.

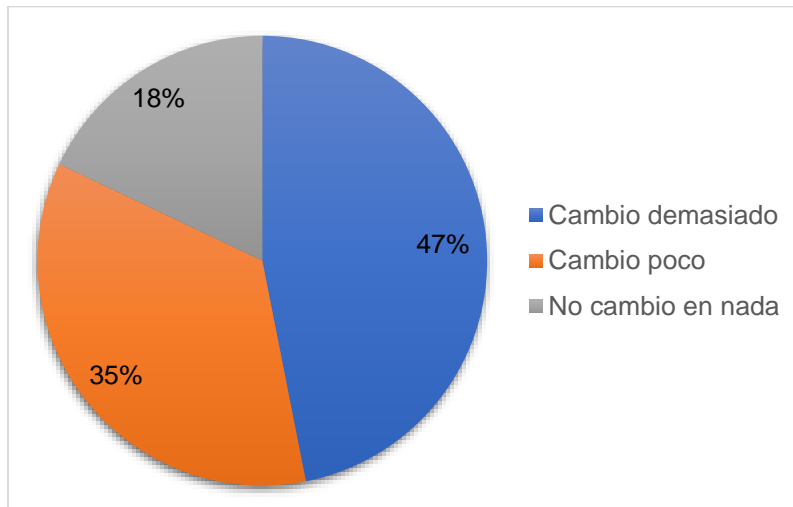


Figura 3. Item 12, En su opinión, ¿En qué grado se modificó la metodología de enseñanza-aprendizaje durante el confinamiento?

Se implementaron distintas medidas para llevar a cabo el proceso de enseñanza-aprendizaje durante el confinamiento, con el 100% la creación de las aulas virtuales utilizando Google Classroom siendo un servicio Web educativo gratuito, todo lo anterior para impartir clases a distancia, así mismo para realizar video llamadas para el seguimiento y atención de la comunidad estudiantil, con el 96% fue necesario la generación de material de estudio por parte de los docentes mismos que fueron proporcionados a los estudiantes, tal como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Ítem 13, Seleccione si las y los docentes implementaron algunos de los procedimientos siguientes.

Tipos de Procedimientos	Porcentaje
Las/os profesores organizaron aulas virtuales para impartir clases a la comunidad estudiantil a través de Google Classroom.	100
Las/os profesores llevaron a cabo conversaciones telefónicas o video llamadas con la comunidad estudiantil.	100
Las/os profesores proporcionaron materiales de estudio a la comunidad estudiantil por correo electrónico con actividades, ejercicios y tareas.	96
Se utilizaron vídeos o audios grabados por los/as profesores con el contenido de las clases suspendidas.	73
La UARM proporcionó ayuda a la comunidad estudiantil que no disponían de recursos digitales.	57

En la tabla 7, se observa los niveles de aceptación de las herramientas tecnológicas que la comunidad estudiantil utilizó para enfrentar el proceso de enseñanza-aprendizaje durante el confinamiento, las aplicaciones gratuitas que proporciona la Web son las más utilizadas y atractivas para los estudiantes. Con menos aceptación se encuentran los formatos controlados por el Sistema de Gestión de Calidad (SGC) implementado en la comunidad Universitaria, por ejemplo: Rúbricas y Listas de Cotejo, así como los exámenes virtuales.

Tabla 7. Ítem 14, ¿En qué grado valora la utilidad de las siguientes herramientas para enfrentar la enseñanza-aprendizaje durante el confinamiento?

Herramientas de enseñanza-aprendizaje	Porcentaje				
	Muy útiles	Bastante útiles	Útiles	Algo útiles	Nada útiles
Sala de videoconferencia y chat (Google Meet)	57	20	20	3	0
Aplicaciones móviles	47	24	26	3	0
Presentaciones en PowerPoint, Google Sliders, vídeos y apuntes	43	26	29	1	1
Actividades de autoevaluación	28	25	39	6	2
Redes sociales	28	24	36	8	4
Rúbricas de evaluación y/o listas de cotejo	26	28	37	7	2
Exámenes virtuales	25	24	42	8	1

Como se puede observar en la tabla 8, el listado de los retos a los que se ha enfrentado la comunidad estudiantil está reflejado de la siguiente manera: deficiente acceso al internet, sobrecarga de tareas y actividades, entre otros, impactando directamente en el desempeño de los estudiantes. Con una menor proporción hace referencia a los procedimientos de las evaluaciones, debido a problemas de conectividad no cumplen en tiempo y forma con la entrega de trabajos.

Tabla 8. Ítem 15, ¿Cuáles de los siguientes han sido, en su opinión, los principales retos a los que se ha enfrentado?

Principales retos	Porcentaje		
	Muy difícil	Algo difícil	Nada difícil
Deficiente acceso a internet	32	54	14
Sobrecarga de tareas, actividades, etc.	30	63	7
Desánimo o desmotivación	28	55	17
La autogestión del tiempo	21	67	12
Carencia de dispositivos electrónicos	19	60	21
Cuestiones relacionadas con las Metodologías Educativas	15	70	15
Dificultades para evaluación	14	69	17

Como se muestra en la figura 4, la comunidad estudiantil afirma con un 97% que tiene disponibilidad (con porcentajes de mucha disponibilidad 62%, algo disponibilidad 30%, poca disponibilidad 5%) para asistir de

manera presencial a tomar las clases debido a que se tiene mayor productividad por tener acceso a los laboratorios, interacción con los docentes y compañeros de clases, y el 3% no existe disponibilidad en el regreso a clases presenciales, debido a que los estudiantes se encuentran trabajando o bien residen en otro Estado de la República Mexicana.

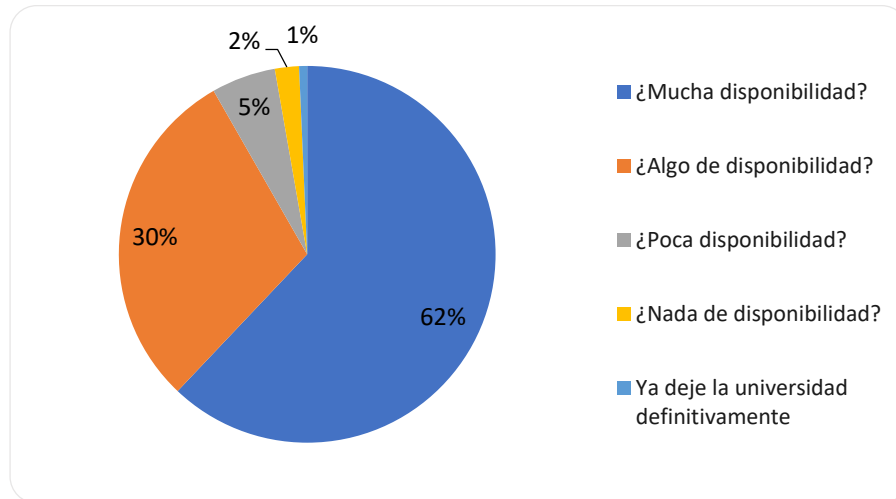


Figura 4. Item 16, ¿Qué tanta disponibilidad hay de que asista a la UARM si el gobierno lo permite en este año escolar?

La comunidad estudiantil afirmó con un 77% que, es ideal que la planta docente debe de continuar utilizando aquellas herramientas tecnológicas, así como las estrategias y técnicas utilizadas en este periodo, por productividad, atracción, seguridad, simplicidad, etc., sin embargo, el 23% no lo considera oportuno por falta de conocimiento, tal como se puede observar en la figura 5.

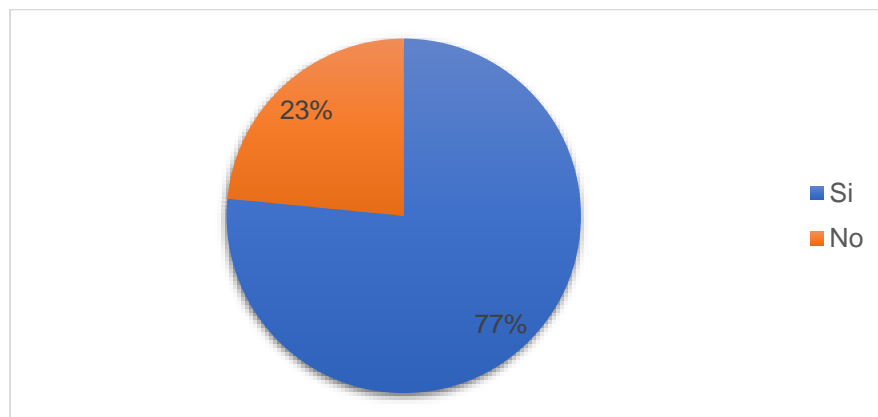


Figura 5. Item 20, ¿considera usted que las y los docentes deben de continuar utilizando aquellas herramientas tecnológicas, estrategias y técnicas utilizadas en este periodo?

Trabajo a futuro

El presente proyecto de investigación se obtuvo un análisis de los resultados de la encuesta aplicada en línea a la comunidad estudiantil de la UARM. Permitiendo identificar la transición de lo presencial a la modalidad virtual, visualizando problemas y carencias, se proponen las siguientes estrategias: se pretende a mediano plazo realizar un procedimiento para atender los efectos ante una Emergencia Sanitaria que beneficie a la comunidad estudiantil y docentes de la Institución Educativa Superior (IES), así mismo la educación virtual es un medio que

mejora los aprendizajes de los estudiantes universitarios y desarrolla sus competencias básicas, aunado a esto es importante mantener un sistema de actualización constante del profesorado en las nuevas tendencias tecnológicas y educativas que permitan mantenerse en un proceso de mejora continua. Por último, realizar una nueva investigación para analizar la percepción de los docentes y alumnos sobre la aceptación de la modalidad no escolarizada; virtual o digital con planes de estudios pertinentes para ofertar nuevas carreras aprobadas a nivel Ingenierías, Licenciaturas, Maestrías y/o Posgrados, ante un inminente crecimiento de la población, de ahí la importancia del detonar el entorno regional y nacional, ante un mundo globalizado.

Conclusiones

En la presente investigación derivado del análisis realizado en el concentrado de una hoja cálculo de la encuesta aplicada a la comunidad estudiantil en la Unidad Académica en la Región de la Montaña (UARM) se pudieron detectar problemas durante el proceso de enseñanza-aprendizaje en la modalidad virtual [6]. El principal objetivo de esta investigación fue detectar el uso y aplicación de las herramientas tecnológicas que sirvieron de base para atender las clases virtuales durante el confinamiento y medir el nivel de aceptación del uso de las herramientas tecnológicas utilizadas por la comunidad estudiantil durante la pandemia y modalidad virtual implementada en los dos niveles: Técnico Superior Universitario (TSU), Licenciatura y/o Ingeniería. La UARM debe contar con procedimientos necesarios para facilitar las herramientas básicas para el proceso de la educación virtual en línea, así fortalecer a los estudiantes con el propósito de materializar la formación profesional.

Agradecimientos

Es importante reconocer a la comunidad estudiantil de la Unidad Académica en la Región de la Montaña (UARM) de Chilapa de Álvarez, Guerrero, dependiente de la Universidad Tecnológica de la Región Norte de Guerrero (UTRNG), quienes ayudaron a contestar la encuesta digital, así mismo a las autoridades directivas de la IES por brindar las facilidades para realizar la presente investigación. Del mismo modo agradecemos la colaboración del M.L.I. José Juan Martínez Toledo por su valioso apoyo en la revisión del abstract.

Referencias

- [1] Higher Education in Mexico: Labour Market Relevance and Outcomes, «Higher Education,» 2019. [En línea]. Available: https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/educacion_superior_en_mexico.pdf. [Último acceso: 22 07 2022].
- [2] «Dirección General de Universidades Tecnológicas y Politécnicas,» Secretaría de Educación Pública, [En línea]. Available: <https://dgutyp.sep.gob.mx/index.php?pagina=Quienes>. [Último acceso: 19 07 2022].
- [3] R. Hernández-Sampieri y C. P. M. Torres, Metodología de la Investigación Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, México: Mc Graw Hill Education, 2018.
- [4] «Calculadora de tamaño de muestra para una proporción (margen absoluto),» Berrie, [En línea]. Available: <http://www.berrie.dds.nl/calcss.htm>. [Último acceso: 17 07 2022].
- [5] Á. Díaz Barriga, «Conferencias educativas Educación A Distancia. Nuevos Retos En Los Modelos Educativos. Educación superior,» 14 junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=ZBdvwa3Gt5w>. [Último acceso: 19 07 2022].
- [6] ISSUE-UNAM, «Educación y pandemia: el futuro que vendrá,» Junio 18 2020. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=yt_78IYBKf4. [Último acceso: 17 Julio 2020].

Deserción Escolar durante la COVID-19 en la carrera de Contador Público del TecNM Campus Chilpancingo

A. Valdez Morales¹, M.O. Espinobarros Salinas², E. Oropeza Bruno², M. Ríos Hidalgo², P. A. Leyva Alarcón²

^{1,2} TecNM Campus Chilpancingo, Av. José Francisco Ruiz Massieu No. 5, Fracc. villa Moderna, 39090 Chilpancingo de los Bravo, Gro.

L17520587@chilpancingo.tecnm.mx

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

El presente trabajo es una investigación sobre las causas del incremento de los índices de deserción escolar durante la crisis sanitaria provocada por la COVID-19 en el TecNM Campus Chilpancingo, en el programa educativo de Contador Público, para llevarlo a cabo se aplicó una encuesta donde los estudiantes plasman sus vivencias durante su trayectoria en la institución, existiendo tres poblaciones diferentes a estudiar conformadas por la generación que ingreso en el 2019 que se encuentran cursando el sexto semestre, la generación que ingreso en el 2020 mismos que cursan el cuarto semestre y la generación del 2021, estos últimos cursan el segundo semestre, con los datos recolectados se analiza el ambientes que enfrentaron los alumnos durante su formación en clases en línea y presenciales para identificar las principales causas de deserción.

Palabras clave: Deserción, COVID-19, Trayectoria, Pandemia.

Abstract

This work is a research on the causes of the increase in the dropout rates during the health crisis caused by the COVID-19 in the TecNM campus Chilpancingo, in the educational program of Public Accountant, to carry it out a survey was applied where students reflect their experiences during their career in the institution, there are three different populations to be studied, formed by the generation that entered in 2019, who are in their sixth semester, the generation that entered in 2020, who are in their fourth semester, and the generation of 2021, the latter are in their second semester. With the data collected, the environment faced by the students during their training in online and on-site classes is analyzed to identify the main causes of desertion.

Keywords: Desertion, COVID-19, Trajectory, Pandemic.

Introducción

La crisis sanitaria causada por la COVID-19 creó un impacto para los distintos niveles de educación, según el INEGI en México durante el ciclo escolar 2019-2020 no concluyeron sus estudios a causa del COVID-19 el 2.2% en nivel preescolar, 1.1% en nivel primaria, 3.2% en secundaria, en medio superior el 3.6% y 2.2%% en el nivel superior [1] el dato nacional es de 2.2% de la población de 3 a 29 años que no concluyeron el ciclo escolar siendo convirtiendo en este a números reales alrededor de 738.4 mil personas abandonaron sus estudios, al abandono de un grado o nivel educativo antes de finalizar el ciclo se le denomina deserción escolar [2]. Por lo tanto, esos porcentajes son de deserción escolar causada por la pandemia en México.

La deserción es un índice para el estudio de trayectorias escolares, se define como el estudio o análisis del recorrido o comportamiento de un grupo de estudiantes a través de su institución desde su inicio hasta la conclusión de estudios. Los índices de estudio son la deserción, el rezago, la reprobación, el rendimiento académico entro otros [3], el estudio de las trayectorias escolares fortalece la planeación educativa, mejora la calidad de las instituciones, brinda un mejor servicio a los estudiantes [4] el diseño de estrategias para reducir los índices negativos otorga un aumento en el prestigio de las instituciones.

Metodología

Materiales

El instrumento para la recolección de datos que se utilizó es una encuesta estructurada con preguntas con escala Likert y dicotómicas, la aplicación de la encuesta se realizó de dos formas durante las fechas del 23 de mayo al 3 de julio del presente año 2022, a través de la plataforma digital *Google Forms* enviando la liga digital por los medios de correo electrónico institucional, *Whatsapp*, Plataforma de *Microsoft Teams* y la segunda forma aplicando la encuesta de manera presencial, el objetivo fue adaptarse a las clases en modalidad híbrida que se impartía en el TecNM Campus Chilpancingo, buscando lograr una óptima recolección de datos.

Preparación y desarrollo

El Tecnológico Nacional de México Campus Chilpancingo es una institución educativa pública federal de nivel superior, se encuentra ubicado en la capital del estado de Guerrero, Chilpancingo de los Bravo, dicha institución cuenta con cinco programas educativos los cuales son: Ingeniería en Gestión Empresarial, Ingeniería Civil, Ingeniería en Sistemas Computacionales, Ingeniería en Informática y Contador Público [5].

La carrera de Contador Público es a la cual se seleccionó para el estudio, en mencionado programa educativo los estudiantes que ingresaron en el 2019 actualmente cuenta con un total de 136 alumnos inscritos, 2020 contando con 137 alumnos inscritos y 2021 este último tiene 147 alumnos inscritos, obteniendo de esta manera las tres distintas poblaciones a estudiar esto se puede apreciar en la Tabla 1.

La determinación del tamaño muestra se realizó a través de la fórmula que se puede apreciar en la Tabla 1, donde **n** es la muestra, **N** es el número de alumnos inscritos y **e** el error de muestreo, el nivel de confianza aplicado es del 88%, mientras que del error es de 12%, de esta manera se obtiene una muestra para los del segundo semestre de 48 alumnos, los de cuarto semestre una muestra de 46 alumnos y los de sexto semestre una muestra de 46 alumnos.

Tabla 1. Determinación de la muestra.

$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$	Semestre	Población	Muestra (n)
	Segundo	147	48
	Cuarto	137	46
	Sexto	136	46
	Total	420	140

Resultados y discusión

En el desarrollo de la investigación de manera previa se realizó una prueba piloto con el objetivo de analizar como los alumnos responderían y sí comprendían las preguntas. Con base a los resultados se decidió identificar a los estudiantes por número de control, de igual manera se cerraron ciertas preguntas para poder lograr agruparlos mejor como el género, el motivo por el cual eligieron la carrera entre otras, dentro del instrumento se encontraban preguntas como: ¿Cuál fue tú percepción del proceso de enseñanza-aprendizaje, al iniciar las clases de modalidad en línea?, Durante la pandemia, ¿Cuál de los siguientes problemas experimentaste para poder ingresar a tus clases en línea?, ¿Tus calificaciones con la modalidad en línea mejoraron? Para lograr conocer el entorno por el que vivieron durante las clases en línea.

En el TecNM Campus Chilpancingo durante la crisis sanitaria se puede observar en la Tabla 2, que los alumnos de la generación de 2019 presentaron un 14.4% de deserción, durante las clases en línea aumentó a un 10.5% quedando en un 24.9% estos estudiantes se encuentran cursando el sexto semestre de su carrera, mientras que a la generación 2020 que ingresaron ya en pandemia, tienen un 23.9% tan solo un 1% de diferencia, se resalta que entre estos existe un margen de dos semestres, estando en porcentajes similares, esto es preocupante, por

lo cual se busca encontrar las causas de reprobación y deserción dentro de estos dos grupos anexando un grupo más de segundo semestre para una mejor comparativa.

Tabla 2. Análisis de los porcentajes deserción en las generaciones 2019 y 2020.

	Porcentaje de deserción en el semestre que inició la pandemia	Porcentaje de deserción durante el resto de la pandemia	Porcentaje de deserción total
Generación 2019	14.4%	10.5%	24.9%
Generación 2020		23.9%	23.9%

La recolección de datos dio como resultado una participación por parte del género femenino muy superior a la del masculino el origen de esto se debe a que dentro de la carrera son más mujeres en las tres poblaciones de estudio que hombres de igual manera representa un mayor compromiso para colaborar en esta clase de proyectos como se puede apreciar en la figura 1. En segundo semestre destaca el 69% de población femenina, un porcentaje similar (67%) ocurre en el cuarto semestre y el sexto semestre, respectivamente.

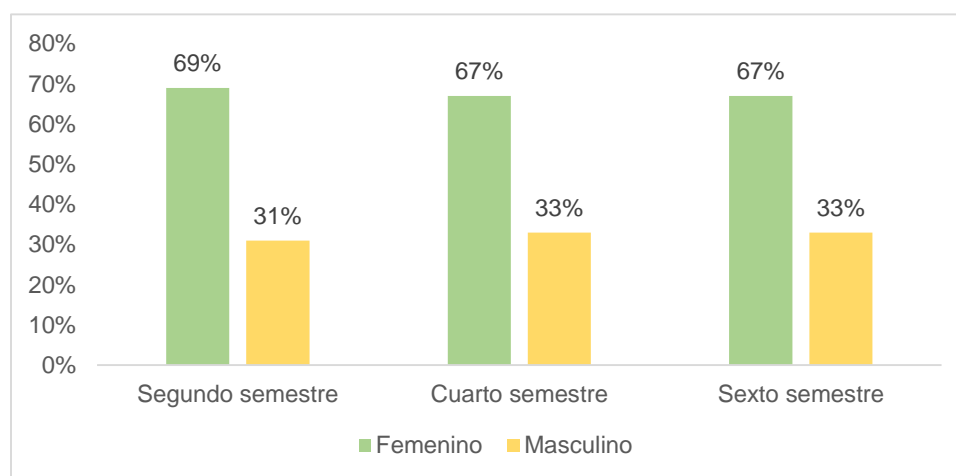


Figura 1. Participación por género en la aplicación de encuestas

En la figura 2 se puede observar que el 42% de los alumnos de segundo semestre consideran el proceso de enseñanza-aprendizaje durante su semestre en modalidad clases en línea como bueno y el 40% regular, el motivo de esto es que ellos llegaron a la Institución con una adaptación mayor a dicha modalidad, al resto de semestres, los docentes de la institución se encontraban mejor capacitados para poder impartir sus clases, mientras que en los alumnos de cuarto semestre, se encuentra la mayor parte representado con un 44% en las opciones buena y regular, una de las causas de un mayor porcentaje en bueno, se debe a que cuando ellos ingresaron, los maestros de la institución ya se encontraban mejor adaptados a la modalidad de clases en línea; finalmente en los de sexto semestre se encuentra un 59% en un proceso de enseñanza-aprendizaje regular, se considera que la principal causa de esto es que les tocó el proceso de adaptación de unas clases en modalidad presencial. En las clases en modalidad en línea, resaltando que los docentes de igual forma pasaron por dicha adaptación, el proceso del que se habla debe estar complementado por métodos eficientes de evaluación hacia los estudiantes [6], debido al inesperado cambio de modalidad dichos métodos no lograron implementarse de forma integral, por esto en parte se justifican las respuestas de los alumnos de sexto semestre.

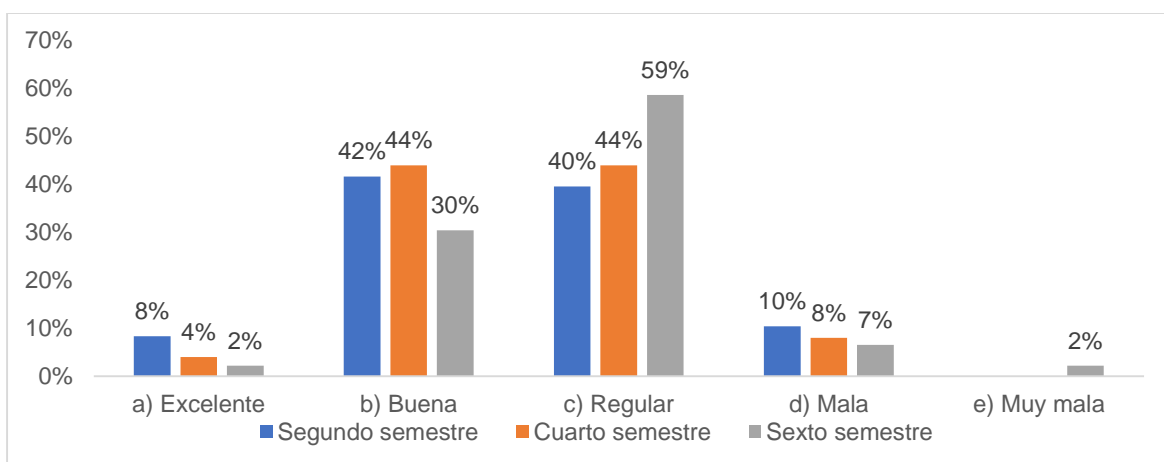


Figura 2. Percepción por semestre del proceso de enseñanza-aprendizaje al iniciar las clases de modalidad en línea.

En la Figura 3, se muestran los problemas a los cuales los alumnos del TecNM campus Chilpancingo se enfrentaron durante las clases en línea, el mayor problema es el internet deficiente por consecuente el no lograr ingresar a clases era frecuente, el problema mencionado lo percibieron el 56% de los alumnos de segundo semestre, el 46% en cuarto semestre y el 37% en sexto semestre, al no poder ingresar al aula virtual, no se logra la enseñanza adecuada, es por esto que la relación entre la figura 2 y 3 se convierte en una causa de reprobación escolar, otras causas del índice mencionado son los problemas de privacidad si a los estudiantes los interrumpen mientras se encuentran en las clases en línea éstos no se concentrarán, de la misma manera no contar con el espacio necesario para tomar la clase, si no se cuenta con un lugar adecuado pueden tener distractores que no permiten la concentración de lo que se habla en clases, por otra parte los problemas de falta de internet y falta de equipo necesario en casa para poder ingresar a las clases en línea, no solo son problemas que pueden llevar a la reprobación son abordados como principales problemas de deserción escolar durante la crisis sanitaria provocada por la COVID-19.

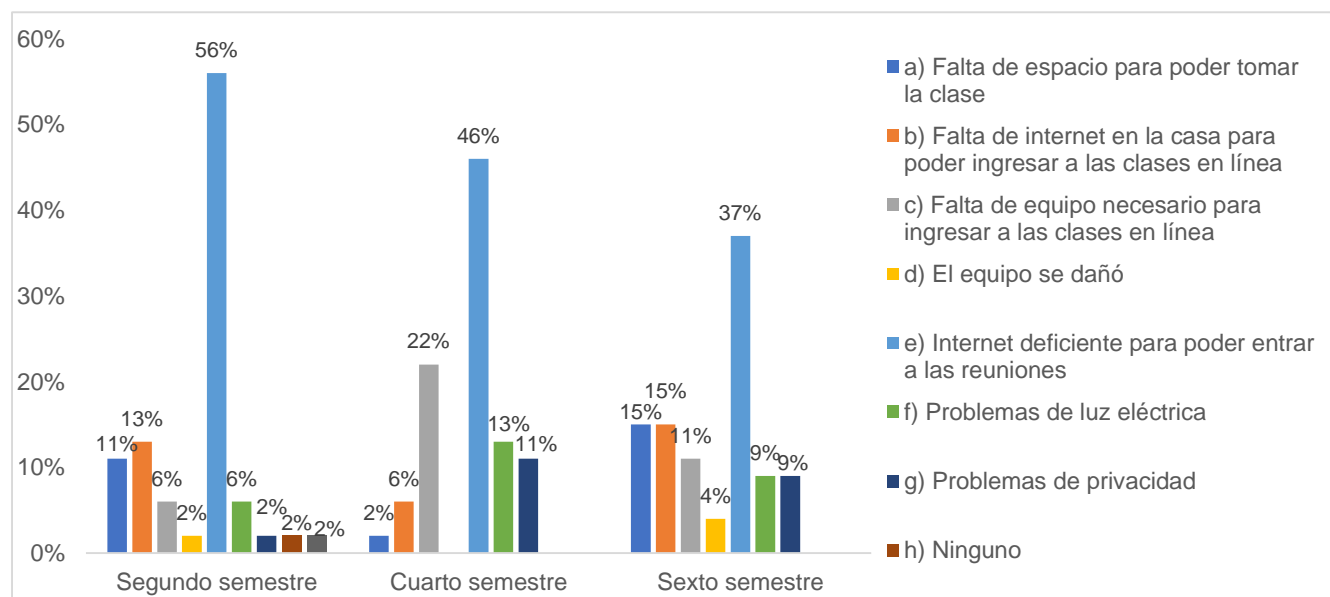


Figura 3. Problemas más frecuentes por semestre durante las clases en línea

Las calificaciones de los alumnos de segundo semestre y cuarto semestre durante las clases en línea mejoraron, teniendo un 58% y 54% respectivamente que aseguran que efectivamente así resultó, por otra parte, en sexto semestre se observa un 54% de estudiantes que no mejoró sus calificaciones esto se aprecia en la figura 4, las causas de esto las asociamos con los problemas de la figura 3, ya que se observa que los alumnos de sexto semestre son los que más problemas presentaron durante las clases en línea.

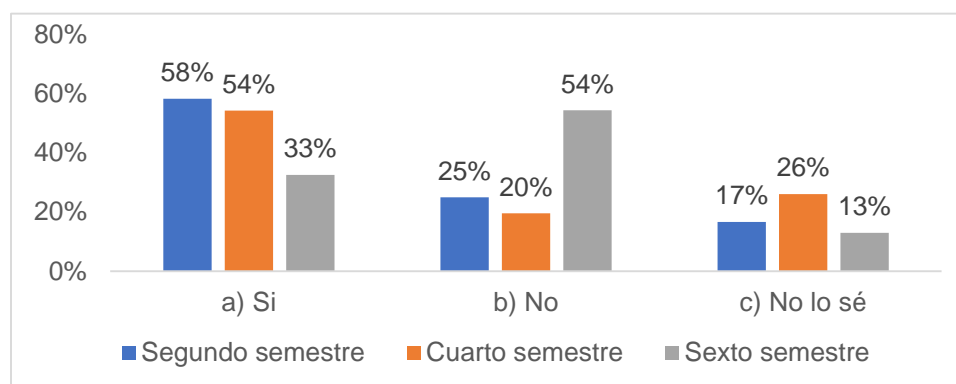


Figura 4. Mejoría de las calificaciones durante las Clases en Línea

La figura 5 nos muestra las asignaturas más complicadas para los tres semestres, para lo cual en este caso se dará más importancia a los alumnos de cuarto y sexto semestre, el motivo es porque los alumnos de primer semestre solo han cursado un limitado número de asignaturas de cada tipo, se puede observar un patrón de aumento entre mayor es el semestre, la tendencia de reprobación en las asignaturas jurídicas aumenta a medida que se avanza de semestre. La teoría del logro la cual está constituida por cuatro causas que llevan al éxito o al fracaso, las cuales son la capacidad, esfuerzo, dificultad de la tarea y suerte, los alumnos procesan la asignatura, en base a sus conocimientos en ella le asignan una dificultad, con esto genera la posibilidad de aprobar o reprobado las asignaturas [7], saber esto ayuda a conocer donde se deben de reforzar los conocimientos de cada semestre.

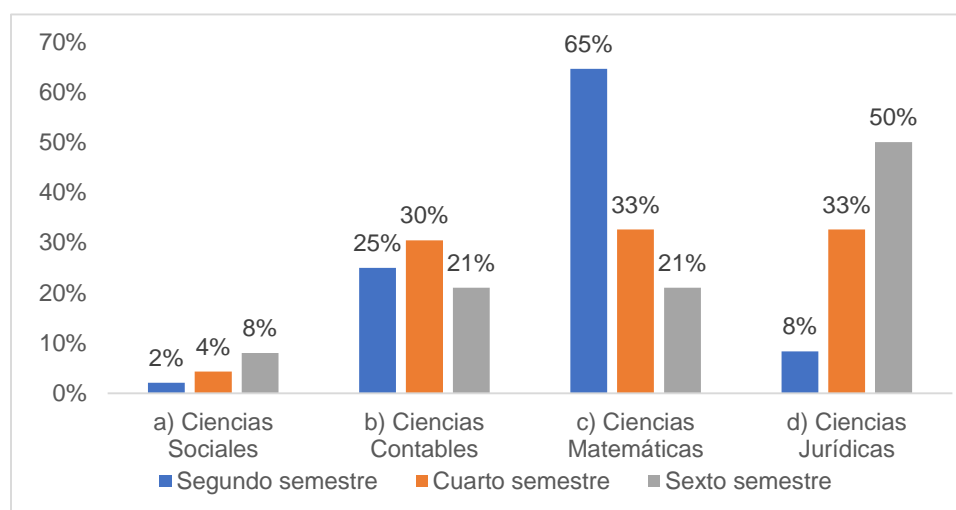


Figura 5. Asignaturas más complicadas por semestre

Durante el primer semestre de los alumnos que se estudiaron se puede apreciar en la Figura 6. Las materias reprobadas, los alumnos de segundo semestre de generación 2021, tienen un índice de aprobación del 75% y un 25% de reprobación respectivamente, las asignaturas que son más reprobadas son: álgebra lineal y administración, los alumnos de cuarto semestre de generación 2020 tienen un índice de aprobación del 92%, mientras que su índice de reprobación se encuentra con un valor de 8%, con únicamente dos asignaturas

reprobadas Álgebra Lineal e Introducción a la Contabilidad Financiera, estos dos grupos cursaron las mencionadas materias en modalidad de clases en línea, modificando de perspectiva, los alumnos de sexto semestre de generación 2019 cursaron las materias en modalidad presencial trayendo un índice del 81% de aprobación, en cambio el índice de reprobación se encuentra en 19%, la asignatura principal es introducción a la contabilidad financiera, esto demuestra que una asignatura teórica-práctica es complicada en modalidad clases presenciales, mientras que en clases en línea tienes más herramientas para el desarrollo de los temas pero de igual forma más herramientas para copiar.

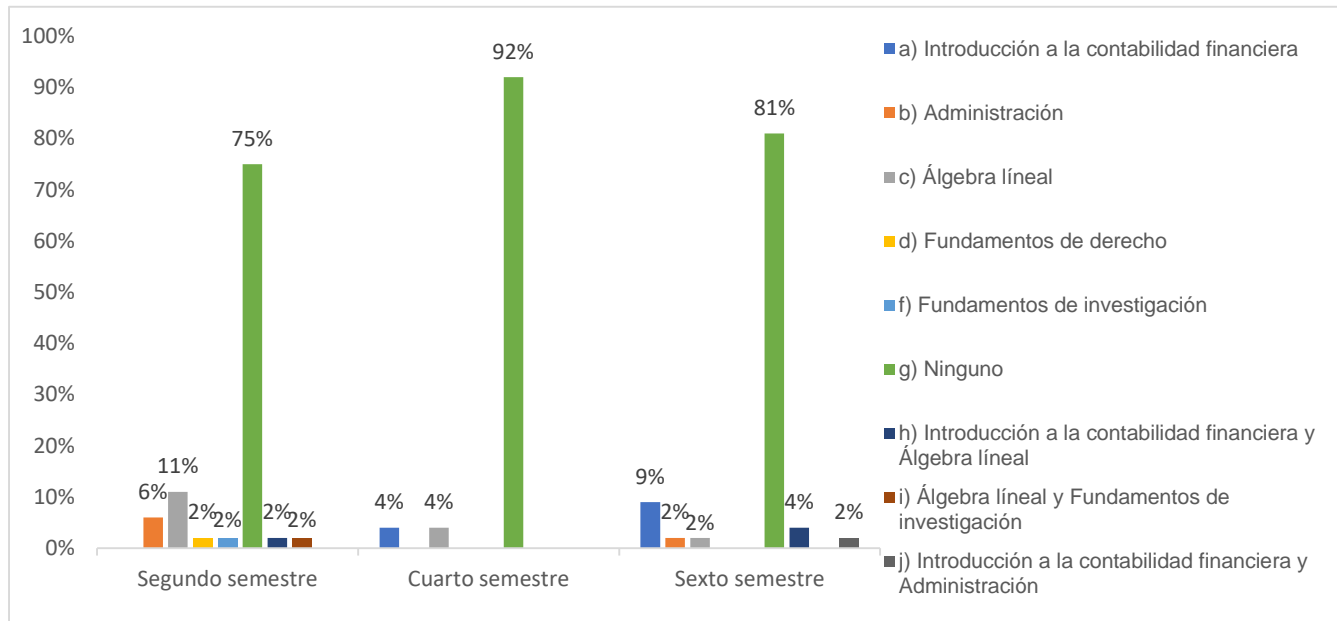


Figura 6. Asignaturas reprobadas en el primer semestre por los alumnos

En la figura 7 se observan las asignaturas reprobadas o en el caso de segundo semestre la generación 2021, aquella asignatura que creen van a reprobado esto tomando en cuenta que en las fechas de aplicación de la encuesta se encontraban ya por finalizar el semestre, los índices de segundo semestre generación 2021 quedan con un 35% de aprobación, mientras que el de reprobación sería del 65%, las materias más reprobadas son Estadística Administrativa I, Contabilidad Financiera I y Cálculo Diferencial, Cálculo Integral; el motivo de esto es debido a que este semestre lo cursaron en modalidad clases híbridas, es decir se turnaba en presencial y en línea quitando la dependencia de usar herramientas para lograr notas altas falsas como Excel y calculadoras inteligentes, por otro lado los alumnos de cuarto semestre la generación 2020 sus índices reflejan un 80% de aprobación y un 20% de reprobación representado por las materias de: Estadística Administrativa I y Contabilidad Financiera I, estas asignaturas fueron impartidas en modalidad de clases en línea, una de las posibilidades del porcentaje alto de reprobación es debido a no poder lograr todos los conocimientos en su último año de nivel medio superior, por último, los alumnos del sexto semestre la generación 2019 con un índice de aprobación del 92% y un 8% de reprobación cuyas materias son cálculo diferencial e integral y estadística administrativa I durante la mitad de este semestre surgió la crisis sanitaria originada por la COVID-19 el motivo de un índice tan alto de aprobación viene debido a que los maestros evaluaron con lo que tenían durante las clases presenciales y trataron de terminar los temarios teniendo el tiempo encima para culminar el semestre.

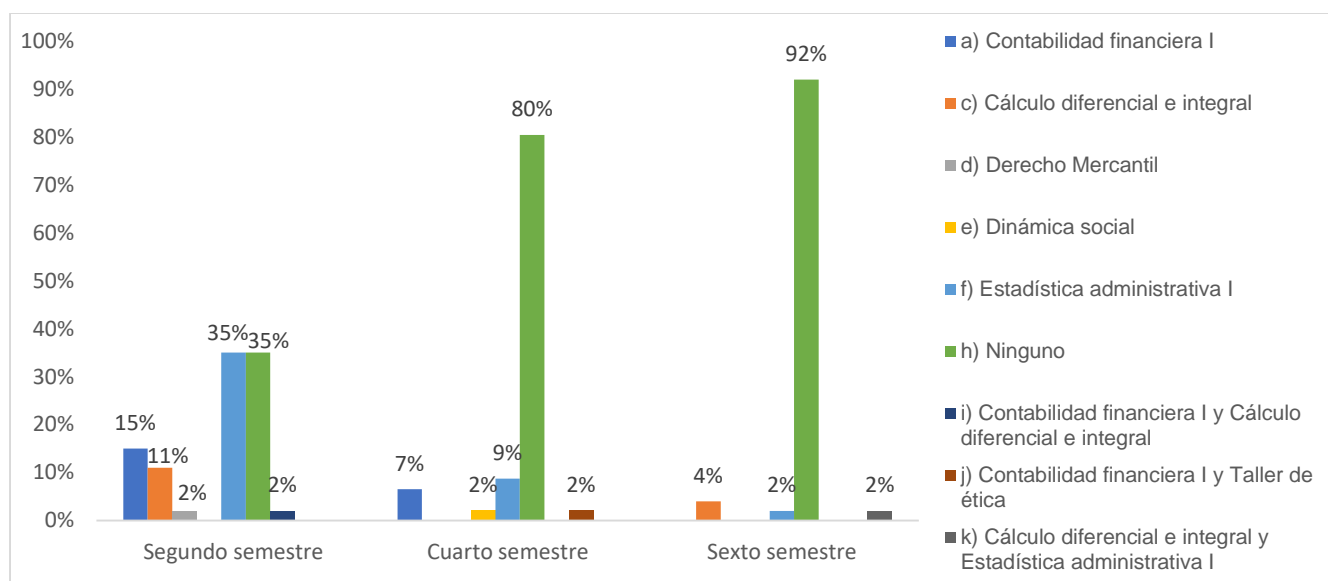


Figura 7. Asignaturas reprobadas en el segundo semestre por los alumnos

En la figura 8 se muestra cuál fue el principal factor por el cual los estudiantes reprobaron la o las materias, resultando que es el académico estando compuesto por desconocimiento en los temas que se llevan a cabo en las materias, al ser su primera vez cursando la materia le es complejo al estudiante captar la información y no tener bases del tema provenientes de la escuela de la cual egresaron, una contradictoria muy interesante es que los alumnos de segundo semestre dicen tener un buen aprendizaje durante las clases en línea no obstante, la principal causa de reprobación es el factor académico demostrando que los conocimientos durante esa modalidad no fueron captados o su conocimiento con el que egresaron del nivel medio superior no es el adecuado. La reprobación y la falta de capacidad para superar los retos académicos son una de las principales causas de deserción escolar [8] por lo que se atribuye que, los alumnos que se incluyen en este 44% de segundo semestre tendrán una mayor posibilidad de desertar en un futuro.

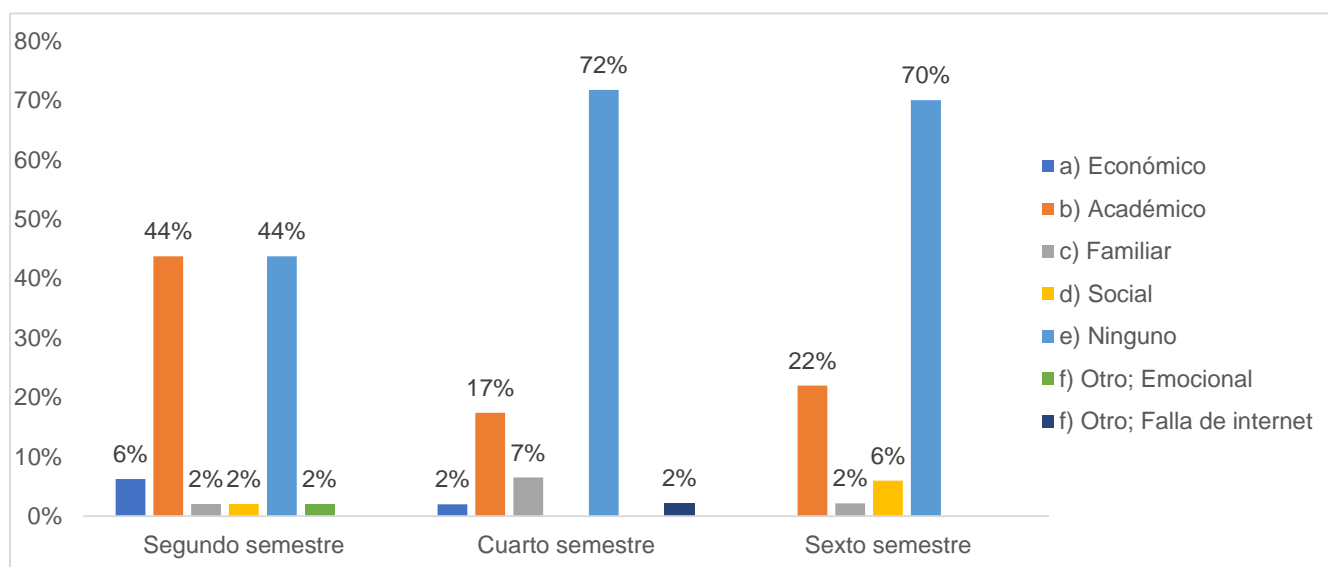


Figura 8. Factor que incluyó en la reprobación de los alumnos por semestre.

En la figura 9 se observa el resultado del porque los estudiantes eligieron esta carrera, este es un factor muy importante que influye en la reprobación y deserción escolar, la deserción se puede dividir en deserción escolar considerando cuando el alumno interrumpe sus estudios siendo su decisión, los motivos son todos aquellos diferentes de su vocación, y el abandono escolar es cuando el alumno es obligado por motivos ya sea económicos, sociales o personales a interrumpir sus estudios [8]. Una opción más de deserción escolar, que es provocado por la pandemia de COVID-19 es el Burnout es decir una respuesta inadecuada al estrés, que se sufrió por estar en confinamiento y realizar todas las clases en línea, esto lo asocian a un aumento en los niveles de estrés del estudiante, perdiendo el interés en la carrera y la motivación por continuar estudiando [9].

La vocación es la principal causa del porque eligieron esta carrera, elegido por el primero y el cuarto semestre, en el sexto semestre se ve una variedad de opciones, como una segunda opción es que los obligaron o tienen familiares que estudiaron esta carrera.

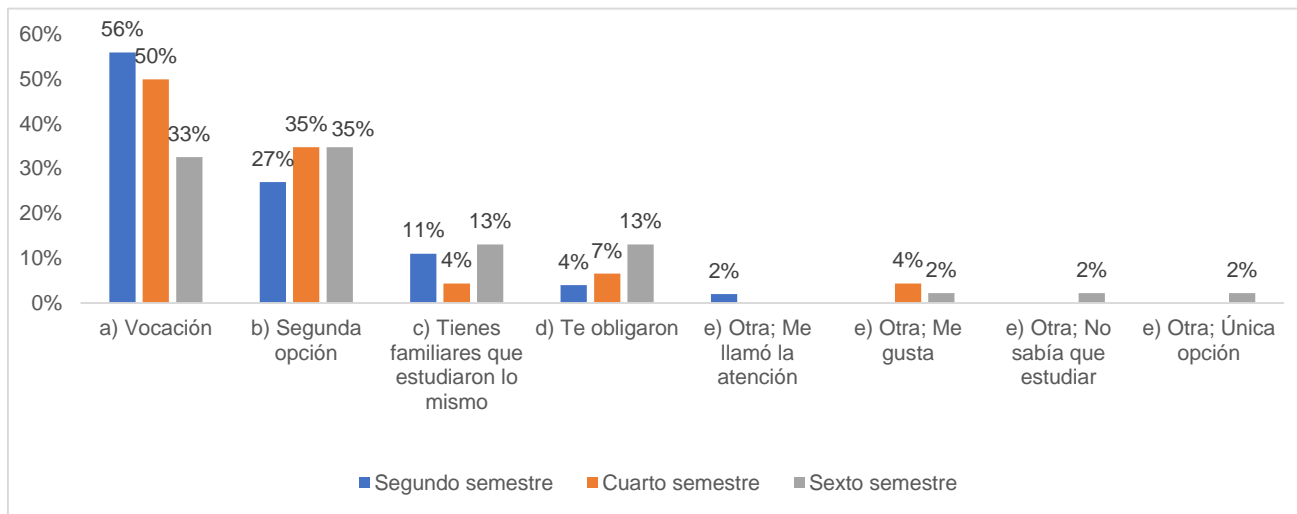


Figura 9. Motivo de elección de la carrera

Los estudiantes en su mayoría, un porcentaje mayor al 70% en cada semestre prefieren la modalidad de clases presenciales, esto se observa en la figura 10, justificando que la competitividad por obtener buenas notas es mejor, mientras que en las clases en línea consideran que no son calificaciones verídicas las obtenidas por parte de algunos estudiantes, el proceso de enseñanza-aprendizaje es mejor ya que no existen tantos distractores al captar información, además encuentran cansada la modalidad clases en línea, al tener contacto directo con sus compañeros y docentes les resulta como un apoyo emocional a continuar con la carrera.

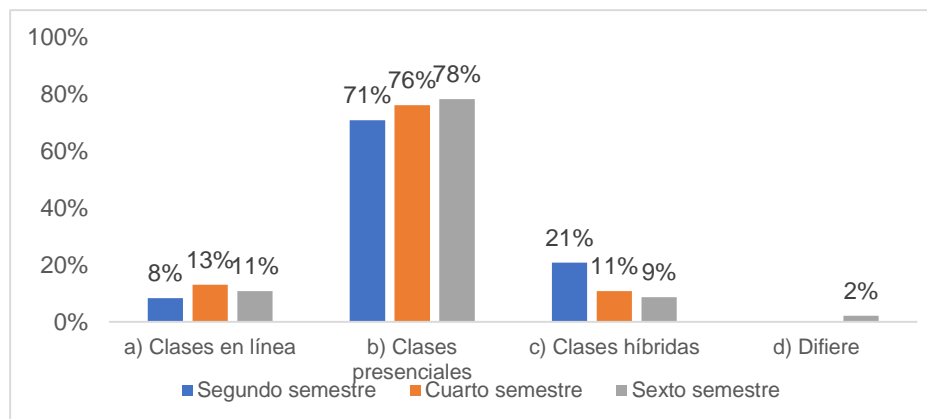


Figura 10. Modalidad de clases que prefieren por semestre

Trabajo a futuro

Se considera que después de haber analizado los resultados de las diferentes preguntas de la encuesta, es necesario atender las condiciones del por qué se da la deserción en la carrera de Contador Público, ya que es importante involucrarse con el por qué y atenderlo de forma proactiva y no hasta que las consecuencias lleven a situaciones negativas para la carrera y para el TecNM Campus Chilpancingo, por lo anterior, se plantean las siguientes propuestas como estrategias de apoyo, estas son:

- Reincorporar el programa de cursos propedéuticos de la institución para los alumnos de nuevo ingreso.
- Implementar programas de asesorías académicas enfocadas en las materias con mayor índice de reprobación.
- Verificar la estructura de los diversos apoyos económicos con los que cuenta la institución y mejorarlos siendo más puntuales en la asignación y seguimiento a los mismos.

Conclusiones

En el Tecnológico Nacional de México Campus Chilpancingo la crisis sanitaria provocada por la COVID-19 trajo consigo una ola de problemas para los alumnos, los problemas mencionados fungieron como un factor de partida que trajo una cadena de consecuencias, comenzando con los problemas con el internet que impedían ingresar a las sesiones de clases trayendo consigo una falta de conocimiento sobre esa clase, afectando la enseñanza-aprendizaje por parte de esta modalidad, de igual manera los problemas de privacidad y el no contar con un espacio para ingresar a las clases, impedía la concentración por parte de los alumnos, continuando con la cadena, esto ocasionó reprobación dentro de las diferentes generaciones la reprobación es un factor muy importante que ocasiona estrés, cansancio, decepción y hasta depresión en los alumnos, llegando al punto de desertar en la carrera.

También se encontró que, las causas principales de aumento de deserción escolar provocada por la crisis sanitaria son de carácter económico por no contar con internet o no tener el equipo para poder seguir con sus estudios. La otra causa es de carácter académico, estructurado principalmente por la reprobación que generó las clases en línea a esto se le suma el estrés causado por el confinamiento y la falta de motivación; por otro lado, se pudo apreciar que para reducir los índices de reprobación y por consiguiente de deserción la institución tiene asesorías y conferencias con el fin de apoyar a los estudiantes en mejorar en el ámbito académico, también se otorgan apoyos económicos, pero es importante señalar que es recomendable verificar la estructura de que asesorías de verdad se necesitan, de igual manera quien si merece y necesita los apoyos económicos. Por último, otra causa de deserción es, el por qué eligieron la carrera, esto se encuentra en un ámbito familiar-personal, porque si al estudiante le interesa la carrera se le puede rescatar de la deserción, pero de lo contrario es más complicado apoyar su permanencia, el querer forzar su capacidad académica por algo que no le interesa llega a ser cansado por lo cual se acaba desertando de la carrera.

Agradecimientos

A los docentes del TecNM Campus Chilpancingo por facilitar la aplicación de encuestas, a los jefes de departamento de la institución que proporcionaron la información sobre los alumnos, a mis compañeros alumnos que colaboraron contestando para obtener los resultados de este proyecto.

Referencias

- [1] INEGI. (2020). Encuesta para la Medición del Impacto COVID-19 en la Educación (ECOVID-ED) 2020 NOTA TÉCNICA. Junio 23, 2022, de INEGI Sitio web: https://www.inegi.org.mx/contenidos/investigacion/ecovided/2020/doc/ecovid_ed_2020_nota_tecnica.pdf
- [2] Torres-Zapata, Ángel Esteban, Rivera Domínguez, Javier, Flores López, Patricia, García Reyes, María del Pilar, & Castillo Trejo, Dariola Astrid. (2020). Reprobación, síntoma de deserción escolar en licenciatura en Nutrición de la Universidad Autónoma del Carmen. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 10(20), e009. Epub 18 de noviembre de 2020. <https://doi.org/10.23913/ride.v10i20.602>
- [3] Sánchez-Olavarría, César. (2019). Trayectorias escolares en el nivel medio superior: el caso de una institución pública. *Revista iberoamericana de educación superior*, 10(28), 66-81. <https://doi.org/10.22201/iisue.20072872e.2019.28.429>
- [4] Legorreta Barrancos, Leydi Elena, Ortega Rodríguez, Ana Luisa, García Pérez, Sergio Francisco y May-Salazar, Laura Angélica. Las trayectorias escolares, un análisis por cohorte generacional. *Revista de Educación Superior*. 2020. 4-12:1-11.
- [5] *TecNM Campus Chilpancingo*. (s/f). *Historia*. Junio 25, 2022, de TecNM Sitio web: <http://chilpancingo.tecnm.mx/>
- [6] Fernández, S. (2018). Rendimiento Académico en Educación Superior: Desafíos para el Docente y Compromiso del Estudiante. *Revista Científica de la UCSA*, Vol. 5 No 3, Diciembre, 5-63 Recuperado en junio 30, 2020, de <http://scielo.iics.una.py/pdf/ucsa/v5n3/2409-8752-ucsa-5-03-55.pdf>
- [7] Fernández Ortega, Miguel Ángel, Ortiz Montalvo, Armando, Ponce Rosas, Efrén Raúl, Fajardo Ortiz, Guillermo, Jiménez Galván, Irma, & Mazón Ramírez, Juan José. (2017). Reprobación en estudiantes de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México. *Educación Médica Superior*, 31(4), 1-17. Recuperado en 24 de junio de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21412017000400012&lng=es&tlng=es.
- [8] Orozco-Rodríguez, Claudia. (2022). Factores que influyen en el abandono escolar de la licenciatura en Matemáticas de la Universidad de Guadalajara. *Revista mexicana de investigación educativa*, 27(92), 259-287. Epub 14 de marzo de 2022. Recuperado en 25 de junio de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662022000100259&lng=es&tlng=es
- [9] Álvarez-Pérez, Pedro Ricardo, & López-Aguilar, David. (2021). El burnout académico y la intención de abandono de los estudios universitarios en tiempos de COVID-19. *Revista mexicana de investigación educativa*, 26(90), 663-689. Epub 11 de octubre de 2021. Recuperado en 27 de junio de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662021000300663&lng=es&tlng=es.

Diseño de objetos de aprendizaje para la materia de Arquitectura de Computadoras en plataforma Moodle

M.E. Montes Almanza^{1*}, M.L. Montes Almanza¹, M.C. Frías Maldonado¹, P.C. Ramírez¹, L.L. Fernández Romero¹.

¹Departamento de Sistemas y Computación, TecNM campus Querétaro, Av. Tecnológico S/N, Col. Centro, C.P. 76000, Querétaro, Qro., México.

* elena.ma@queretaro.tecnm.mx

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

Actualmente existen en internet una gran variedad de materiales digitales en línea, sin embargo, no se tiene la certeza que sean adecuados y/o pertinentes para desarrollar las competencias genéricas y específicas que son requeridas para cumplir con el perfil de egreso de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, por ello se requiere el diseño e implementación de Objetos Virtuales de Aprendizaje en los cursos que se alojan en la plataforma Moodle bajo una metodología específica, que facilite su localización y reutilización además de garantizar su pertinencia, calidad y eficacia de modo que, aunados a las estrategias de enseñanza aprendizaje desarrolladas por los docentes, se adapte a las necesidades de los estudiantes permitiendo que interactúen y aprendan en un entorno más amigable logrando un mejor rendimiento académico. En el presente trabajo se muestran los resultados de la implementación de Objetos Virtuales de Aprendizaje para la materia de Arquitectura de Computadoras.

Palabras clave: Objeto de Aprendizaje, Metodología AODDEI, Diseño Instruccional, H5P

Abstract

Currently there is a wide variety of online digital materials on the internet, however, it is not certain that they are adequate and/or relevant to develop the generic and specific skills that are required to meet the graduation profile of the Engineering career. In Computer Systems, therefore the design and implementation of Virtual Learning Objects is required in the courses that are hosted on the Moodle platform under a specific methodology, which facilitates their location and reuse as well as guarantees their relevance, quality and effectiveness so that, coupled with the teaching-learning strategies developed by teachers, adapt to the needs of students, allowing them to interact and learn in a friendlier environment, achieving better academic performance. In the present work the results of the implementation of Virtual Learning Objects for the subject of Computer Architecture are shown.

Keywords: Learning Object, AODDEI Methodology, Instructional Design, H5P

Introducción

El confinamiento originado por el COVID-19, obligó a la población a realizar cambios en la manera de realizar sus actividades personales y laborales, ante esta situación el entorno educativo tuvo que realizar una diversidad de cambios para los cuales no se encontraban preparadas las instituciones educativas, los docentes y los estudiantes, como, por ejemplo, el trasladar el aula de clases presencial a un aula virtual, para así poder dar continuidad al proceso educativo.

En este contexto, las instituciones educativas tuvieron que reaccionar haciendo uso de recursos tecnológicos, así como de herramientas digitales que tenían a su alcance, muchas veces adecuando aquellos con los que contaban en ese momento; en el caso del Tecnológico Nacional de México campus Querétaro esta situación no fue la excepción, a pesar de que en el instituto se contaba con la plataforma Moodle a nivel institucional con cursos realizados por docentes de las diversas carreras, muchos de los cursos solo contaban con archivos digitales y actividades de formación que se limitaban solo a subir archivos con diversos formatos digitales, sin hacer uso de todas las herramientas proporcionadas por la plataforma Moodle, ni siguiendo alguna metodología para el diseño y desarrollo de los cursos virtuales, limitando en algunas ocasiones el proceso de enseñanza aprendizaje de los estudiantes inscritos en los programas educativos.

Por lo que, con la finalidad de promover un mejor desempeño en la generación de estrategias y recursos de aprendizaje que puedan ser incluidas en un curso virtual y que cumplan con ciertos criterios de calidad, se requiere establecer e implementar una metodología que proporcione las directrices y las etapas necesarias para el diseño de un curso virtual, optándose en este sentido por utilizar el diseño instruccional ADDIE (análisis, diseño, desarrollo, implementación y evaluación).

El diseño instruccional ADDIE, es un modelo básico de diseño tecno-pedagógico [1]; conformado por cinco fases, las cuales son [2]:

- **Análisis:** se determinan las características y necesidades de la audiencia como los medios de difusión y las actividades que necesitan hacer los estudiantes para el logro de sus competencias.
- **Diseño:** se selecciona el mejor ambiente de aprendizaje (ya sea electrónico o tradicional) de acuerdo con las destrezas cognitivas que se requieren para el logro de la meta, estableciendo los objetivos del curso, se seleccionan estrategias pedagógicas y se bosquejan los elementos que conformarán el curso (módulos unidades temáticas, lecciones etc.)
- **Desarrollo:** se crean los contenidos y materiales de aprendizaje basados en la fase de diseño.
- **Implementación:** se distribuyen los materiales y se implantan en el curso, también se resuelven problemas técnicos y se plantean acciones alternas.
- **Evaluación:** se desarrollan pruebas para medir los estándares instruccionales del curso.

A su vez, también es necesario la inclusión de una serie de recursos que puedan ser reutilizables en diversos cursos como son los Objetos de Aprendizaje (OA), los cuales se conceptualizan como recursos curriculares digitales que pueden integrarse en distintos contextos educativos para apoyar los programas formativos con distintos objetivos y destinatarios [3].

Para construir un OA es necesario establecer los elementos que permitan elaborar y aplicar correctamente los objetos de aprendizaje en el proceso de enseñanza aprendizaje, así como, de una metodología que guíe su desarrollo, como es la metodología AODDEI (Obtención y Análisis, Diseño, Desarrollo, Implementación y Evaluación) basada en el modelo de diseño instruccional ADDIE compuesto estructuralmente de las siguientes fases [4]:

- **Obtención y Análisis:** donde se identifica una necesidad de aprendizaje con lo que se determinan las características y elementos del OA, así como del material necesario para realizarlo.
- **Diseño:** se establece un esquema general del OA, que indicara cómo están interrelacionados los contenidos, objetivos, actividades de aprendizaje y la evaluación. Es importante considerar en esta etapa la creación de los metadatos, que proporcionan información general del OA.
- **Desarrollo:** se crean los objetos de aprendizaje utilizando software especializado (*eXeLearning*, *hotpotatoes*, software generador de código HTML o XML).
- **Implementación:** se integra el OA en un curso en la plataforma Moodle, con la finalidad de valorar su usabilidad en un determinado contexto, siendo evaluado por los usuarios y proporcionando retroalimentación.
- **Evaluación:** se evalúan una serie de factores en el OA que van desde el diseño hasta el aspecto pedagógico, por lo que se requiere diseñar un instrumento de evaluación que considere cada factor a evaluar, así como los indicadores de los mismos.

En Moodle es posible crear objetos de aprendizaje mediante la utilización de recursos que forman parte de la misma plataforma, o bien de recursos que pueden ser accedidos a través de un *plugin* empaquetado con SCORM, como la herramienta H5P, que permite utilizar y agregar los recursos como si fueran parte de la misma plataforma [5].

La herramienta H5P es un software libre, que permite crear objetos de aprendizaje dinámicos e interactivos basados en lenguaje HTML5 (*HyperText Markup Language*, versión 5) [6], algunos de los contenidos que proporciona son: video *interactivo*, *presentaciones*, *selección de múltiples listas*, *set de pruebas*, *organizar contenido por columnas*, *arrastrar y pegar palabras*, *completar los recuadros en blanco*, *crucigramas*, *sopa de letras*, etc., así como, sugerencias sobre cómo implementar estos contenidos en un curso virtual.

Considerando lo anterior, se planteó diseñar algunos objetos de aprendizaje para diversas materias del programa educativo de Ingeniería en Sistemas Computacionales, que bien por el tipo de contenido y/o por la complejidad

del área de conocimiento, es difícil que el estudiante se apropie de los conocimientos planteados, como es el caso de la materia de **Arquitectura de Computadoras**, donde por la cantidad de material teórico práctico, es mucho más difícil lograr y motivar el autoaprendizaje de los estudiantes a través de un curso virtual.

Metodología

Para el desarrollo de este trabajo, se empleó una investigación de corte cuantitativo no experimental, con un alcance descriptivo y transversal. La población de estudio se conformó con 70 estudiantes del programa educativo de Ingeniería en Sistemas Computacionales inscritos en la materia de Arquitectura de Computadoras en el periodo enero-junio 2022.

Así mismo, para calcular el tamaño de la muestra se utilizó la fórmula para el cálculo de la muestra con población finita y conocida; obteniéndose una muestra de 60 estudiantes por la técnica de muestreo aleatorio simple, con un nivel de confianza del 95% y un porcentaje de error del 5%.

De igual manera para concretar la elaboración del curso virtual, así como de los objetos de aprendizaje el trabajo de investigación se dividió en dos etapas:

La **primera etapa** consistió en aplicar de manera puntual, cada una de las fases propuestas por el modelo instruccional ADDIE, para la construcción del curso virtual de Arquitectura de Computadoras, en la plataforma Moodle, siguiendo en todo momento el programacurricular de la materia, lo cual puede llegar a repercutir en materias subsecuentes que necesitan de estos conocimientos previos como lo es la materia de Sistemas Operativos.

Durante la fase de evaluación, para validar la *calidad del curso virtual y su impacto en aprendizaje de los estudiantes*, se diseñó un instrumento tomando como referencia el cuestionario "MOOC-LGEE-TEC Indicadores de Calidad" [7], quedando conformado por 23 ítems agrupados en 4 dimensiones.

Las primeras tres dimensiones permiten valorar la calidad de diseño de un curso virtual considerando el aspecto pedagógico, el aspecto de diseño y el aspecto de usabilidad, mientras que la cuarta dimensión permite determinar el impacto del curso en el aprendizaje de los estudiantes; con una escala de Likert de 5 puntos: 1. Totalmente en desacuerdo, 2. En desacuerdo, 3. Indiferente, 4. De acuerdo y 5. Totalmente en acuerdo.

La **segunda etapa** consistió en aplicar para el diseño e implementación de varios objetos de aprendizaje la metodología AODDEI, los cuales fueron desarrollados con herramientas propias de Moodle y de H5P que se incluyeron en la plataforma institucional mediante un *plugin*, facilitando con ello la integración de los objetos de aprendizaje como si fueran parte de los recursos del curso virtual de Arquitectura de las Computadoras diseñado en la etapa anterior.

En esta etapa, para validar los objetos de aprendizaje diseñados se utilizó el instrumento de Evaluación de Recursos Educativos Digitales (LORI) por sus siglas en inglés [8], que consta de 9 dimensiones:

1. Calidad del contenido
2. Correspondencia con el objetivo
3. Retroalimentación y adaptación
4. Motivación
5. Diseño y presentación
6. Interacción y usabilidad
7. Accesibilidad
8. Reusabilidad
9. Atención de estándares

Las dimensiones anteriores se valoran utilizando una escala numérica ascendente del 1 al 5, para obtener el puntaje total se suman los valores de cada dimensión, a partir de los cuales se categorizan los puntajes en 4 escalas, considerando los siguientes rangos: pobre (40 a 59), aceptable (60 a 79), bueno (80 a 89) y muy bueno (90 a 100).

Resultados y discusión

Como se mencionó en la **primera etapa** se trabajaron las 5 fases del diseño ADDIE, por tanto en la **fase de análisis** del diseño instruccional se desarrolló un *examen diagnóstico* para identificar los conocimientos previos de los estudiantes sobre temas relacionados con la evolución tecnológica, así como, de los elementos funcionales de la computadora, encontrándose que 40 de los 60 estudiantes, que corresponde al 67% de la muestra, tienen un conocimiento general sobre los elementos funcionales de la computadora, dado que obtuvieron una calificación mayor de 65; mientras que, en lo que se refiere a los conocimientos sobre la evolución histórica de las computadoras se encontró que es muy poca, dado que 48 de los 60 estudiantes obtuvieron una calificación menor a 60.

Por su parte, en la **fase de diseño** para cumplir con los aspectos de diseño se estableció una serie de actividades de aprendizaje siguiendo una secuencia didáctica con actividades de apertura, desarrollo y cierre, de igual manera se diseñaron los materiales que se incluirán en el curso definiéndose a través de un guión técnico para la producción de recursos digitales del Modelo de Educación a Distancia del TecNM, donde se detallan los aspectos de contenido, elementos y formato de los recursos digitales, cuya estructura es:

1. Datos de identificación del recurso digital.
2. Script, donde se establece la secuencia y estructura del recurso, el tipo de contenido audiovisual, efectos de animación e interactividad, recursos tecnológicos y tiempo de producción.
3. Metadatos.
4. Ciclo de vida del recurso.

Así mismo, se estableció la estructura del curso virtual cuya distribución es:

1. Descripción del curso.
2. Instrumentación didáctica.
3. Unidades del curso.
4. Criterios de evaluación.
5. Material complementario.
6. Bibliografía.

En la **fase de desarrollo** se elaboraron los materiales didácticos, así como los objetos de aprendizaje considerando los elementos del guión técnico desarrollado, cabe mencionar, que esta fase se trabajó de manera simultánea con la etapa dos para la elaboración de los OA siguiendo la metodología AODDEI, además de tomar en consideración los recursos definidos en la fase de diseño.

Durante la **fase de implementación** se alojaron conforme avanzaba el semestre, los materiales didácticos y los recursos digitales en la plataforma institucional Moodle, permitiendo el acceso a estudiantes y docentes mediante la siguiente liga de acceso: <https://moodle-1.itq.edu.mx/my/index.php>.

Por último, en la **fase de evaluación**, para evaluar la pertinencia e impacto en el proceso de enseñanza aprendizaje de las actividades y recursos digitales que se incorporaron al curso virtual, se aplicó un cuestionario que fue elaborado tomando como referencia el cuestionario MOOC-LGEE-TEC donde se obtuvieron en cada una de las dimensiones evaluadas, los siguientes resultados:

En la **dimensión de aspectos pedagógicos** los resultados obtenidos se muestran en la figura 1 observándose una tendencia a estar *totalmente de acuerdo* en los elementos pedagógicos del curso, de este modo un 65% de los estudiantes consideraron estar *totalmente de acuerdo* en que los contenidos temáticos del curso se explican detalladamente, un 55% mencionan estar *totalmente de acuerdo* en que los contenidos del curso son presentados de manera estructurada y lógica.

De igual manera un 87% de los estudiantes estuvieron *totalmente de acuerdo* en que cada unidad temática del curso presenta una introducción, un 53% coinciden en que al finalizar cada unidad se presenta una síntesis del contenido temático, en este indicador es importante mencionar que el 15 % de los estudiantes encuestados se mostraron *indiferentes* al respecto. A su vez, un 73% refieren estar *totalmente de acuerdo* en que las actividades planteadas ofrecen recursos que facilitan su comprensión. Así mismo, un 83% de los estudiantes coinciden en que las actividades cuentan con instrucciones claras que facilitan su elaboración, mientras que un 78% están *totalmente de acuerdo* en que las instrucciones para utilizar los recursos son claras y fáciles de entender y, por último, un 82% coinciden en estar *totalmente de acuerdo* en que el curso virtual cuenta con instrucciones de

acceso claras y fáciles de entender.

Estos resultados dan cuenta de que el curso virtual en lo referente a su estructura pedagógica, cumple con las características de calidad para los estudiantes ya que cuenta con una metodología didáctica, incluyendo los objetivos y las estrategias necesarios que facilitan un mayor logro en el proceso de enseñanza aprendizaje.

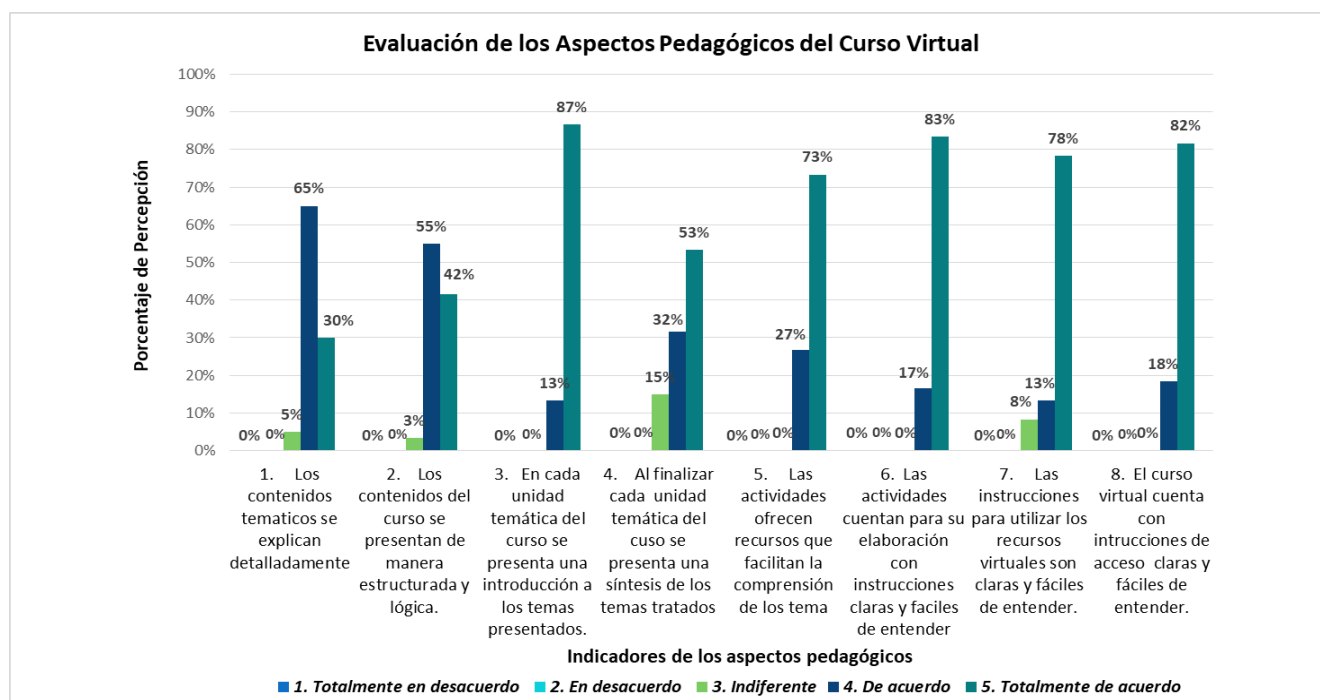


Figura 1. Evaluación de los aspectos pedagógicos del curso virtual.

En relación a los resultados de la **dimensión de aspectos de diseño**, estos se observan en la figura 2, donde el 67 % de los estudiantes encuestados estuvieron totalmente de acuerdo en que las actividades y recursos fueron diseñados con tecnología de punta, en cuanto a la calidad visual de los materiales informativos y recursos el 70% de los estudiantes refieren estar *totalmente de acuerdo*, un 30% manifestaron estar *de acuerdo*, de igual manera un 75% refieren estar *totalmente de acuerdo* en que los materiales y recursos multimedia fueron desarrollados con una calidad, ergonomía y estética aceptable, por último en relación a la variedad de recursos multimedia utilizados un 78% de los estudiantes estuvieron *totalmente de acuerdo*; lo cual puede ser por los diferentes estilos de aprendizaje que tienen los estudiantes para acceder al conocimiento.

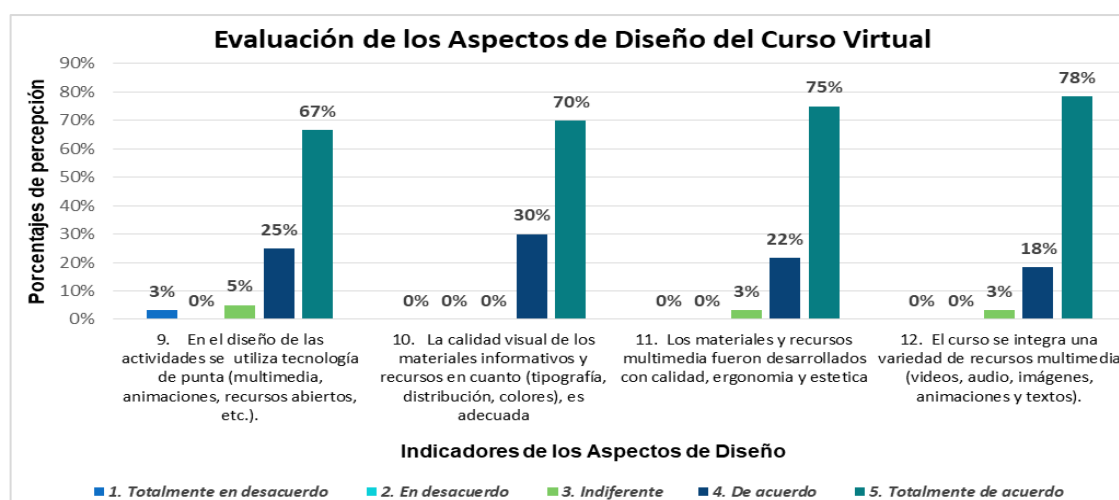


Figura 2. Evaluación de los aspectos de diseño del curso virtual.

En lo que concierne a la **dimensión aspectos de usabilidad**, los resultados se muestran en la figura 3, donde los estudiantes encuestados refieren estar en un 32% *totalmente de acuerdo* en que la funcionalidad de la plataforma tecnológica es confiable, este porcentaje bajo puede deberse a la saturación que tuvo el servidor donde se aloja la plataforma con los cursos, por lo que se tuvo que migrar a otro servidor siendo inestable su acceso durante varias semanas del semestre en curso. Por otro lado, en relación a la facilidad para acceder a las unidades temáticas, recursos, actividades y evaluaciones del curso, un 63% de los estudiantes mencionaron estar *totalmente de acuerdo*, un 28% *de acuerdo*, un 7% refieren estar en *desacuerdo* y un 2% *totalmente en desacuerdo*.

En cuanto a su percepción sobre la estructura, sencillez y ergonomía con que se navega en las sesiones del curso, un 55% de los estudiantes mencionan estar *totalmente de acuerdo*, un 43% refieren estar *de acuerdo* mientras que un 2% refieren estar en *desacuerdo*, aunque un 88% de ellos estuvieron *totalmente de acuerdo* en que el curso cuenta con enlaces directos a todas las secciones del curso, página principal y viceversa.

Por tanto, de acuerdo con los resultados anteriores es posible afirmar que el diseño del curso cuenta con los elementos necesarios para que los estudiantes puedan moverse través de los diversos contenidos y actividades, apoyando al estudiante en la visualización de la información para poder concretar su aprendizaje.

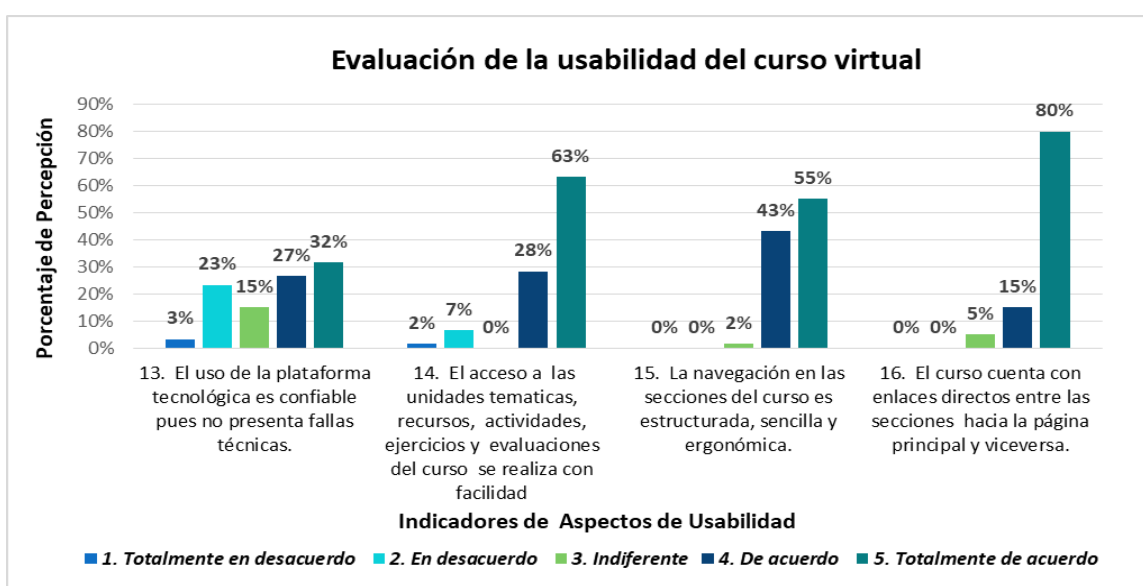


Figura 3. Evaluación de los aspectos de usabilidad del curso virtual.

Por otro lado, en los resultados para medir el **impacto del curso en el aprendizaje los estudiantes** en la figura 4, se observa que el 55% de los estudiantes encuestados están *totalmente de acuerdo* en que el curso facilitó su aprendizaje debido a que les permitió trabajar a su propio ritmo, mientras que un 45% de los estudiantes coincidieron con sus compañeros en que el curso facilitó su aprendizaje.

También se observa, que el 48% de los estudiantes están *totalmente de acuerdo* en que el desarrollo de las actividades, evaluaciones y ejercicios de autoevaluación permitió validar su desempeño en el curso, mientras que un 52% estuvo *de acuerdo* y de igual manera un 37% refieren estar *totalmente de acuerdo* en que la retroalimentación recibida en el desarrollo de las actividades y evaluaciones permitió mejorar su desempeño.

Así mismo, un 45% de los estudiantes mencionan estar *totalmente de acuerdo* en que el tiempo estimado para realizar las actividades es adecuado según su complejidad, al respecto un 42% refieren estar *de acuerdo* y a un 13% le es *indiferente* y solo 8% de los estudiantes manifestó estar en *desacuerdo*.

De igual manera un 45% de los encuestados mencionan estar *totalmente de acuerdo* en que el tiempo para presentar los exámenes fue suficiente en cuanto a su complejidad, mientras que un 47% estuvo *de acuerdo* en lo anterior, por su parte al 7% de los estudiantes les fue *indiferente* y por último el 8% estuvo en *desacuerdo*.

A su vez, un 58% de los estudiantes manifiestan estar *totalmente de acuerdo* en que se agreguen más objetos de aprendizaje al curso, un 33% está *de acuerdo* y al 8% le es *indiferente*, además un 72% de los estudiantes manifestó estar *totalmente de acuerdo* en recomendar el curso a otros estudiantes, mientras que el 23% está *de acuerdo* y al 5% le es *indiferente*.

Con base en lo anterior, se concluye que el curso virtual para la materia de Arquitectura de Computadoras tuvo un impacto positivo en su aprendizaje, dado que se está cumpliendo la finalidad de diseñar e implementar recursos virtuales que permiten que los docentes desarrollen clases más dinámicas y flexibles ayudando a mejorar la experiencia de aprendizaje, fomentando la participación e involucramiento de los estudiantes en el proceso de enseñanza aprendizaje.

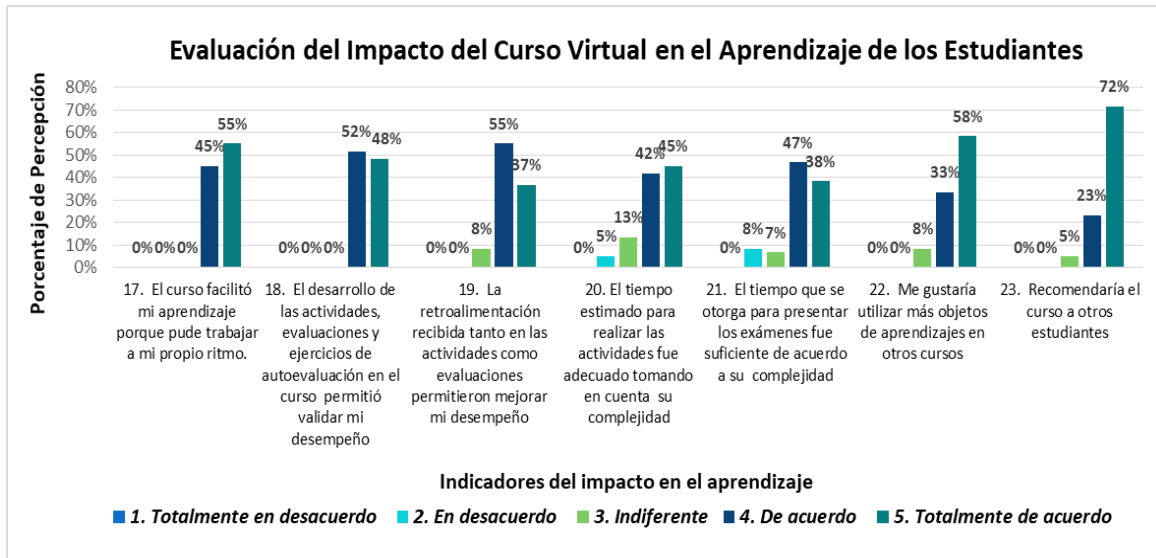


Figura 4. Evaluación del impacto del curso virtual en el aprendizaje de los estudiantes.

Los resultados del desarrollo de la **segunda parte** del proyecto se concretaron con la elaboración de 5 objetos de aprendizaje (WebQuest, Video Interactivo, Lección en Moodle, Memorama y Simulación del ciclo de instrucción) siguiendo la Metodología AODDEI, siendo estructurados y considerando los elementos [9] que se muestran en la figura 5.

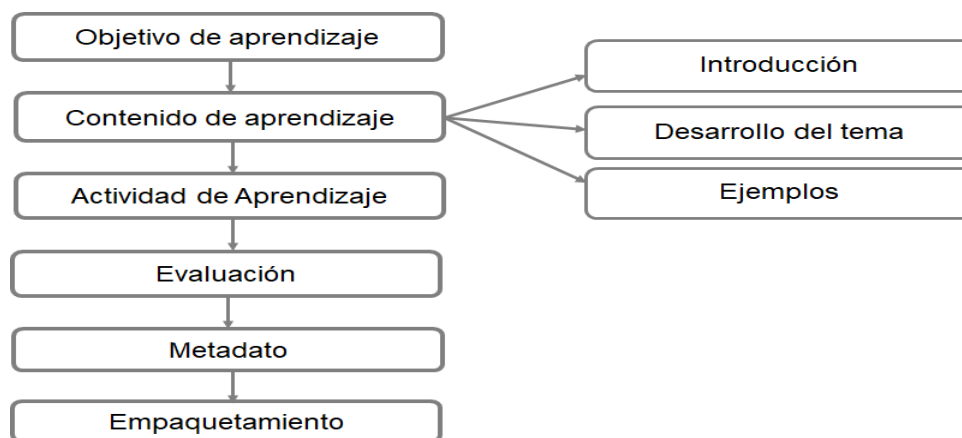


Figura 5. Estructura del objeto de Aprendizaje.

En la figura 6 se muestra una imagen de un objeto de aprendizaje, que consistió en el desarrollo de un WebQuest, para abordar los temas de la Unidad 1-Arquitecturas de Cómputo en el curso de Arquitectura de Computadoras.

The screenshot shows a web page titled 'Introducción' under the heading 'WEBQUEST ARQUITECTURA DE COMPUTADORAS'. It contains a table of contents on the left with 'Introducción' selected. The main content area explains the role of a computer in processing data and lists three fundamental components: CPU, memory, and system bus. Navigation buttons for 'Anterior' and 'Siguiete' are visible at the top and bottom.

Figura 6. Configuración de un objeto de aprendizaje (WebQuest).

En cuanto a los resultados de la **valoración de los objetos de aprendizaje diseñados** como se muestran en la figura 7, se visualiza que el *Video Interactivo* fue valorado por el 17% de los estudiantes como *muy bueno*, mientras que 58% de los estudiantes lo valoraron como *bueno*; seguido por el *WebQuest* que fue valorado por el 15% de los estudiantes como *muy bueno* y un 53% le otorgaron una valoración de *bueno*.

A su vez la *Lección en Moodle* fue valorada por el 3% como *muy bueno*, siendo valorada como *bueno* por 72% de los estudiantes, mientras que el 25% del resto de los estudiantes le otorgaron una valoración de *aceptable*. Por su parte, el *Memorama* obtuvo una valoración de *muy bueno* solo por el 3% de los estudiantes encuestados, siendo considerado por el 38% como *bueno*, mientras un 52 % le otorgaron una valoración de *aceptable* y el 7% lo valoraron *pobre*.

Así mismo, la *Simulación* obtuvo una puntuación más baja que los objetos de aprendizaje anteriores, ya que solo el 33% de los estudiantes le dieron una valoración de *bueno*, mientras que un 62% lo consideraron como *aceptable* y un 5% lo consideran *pobre*.

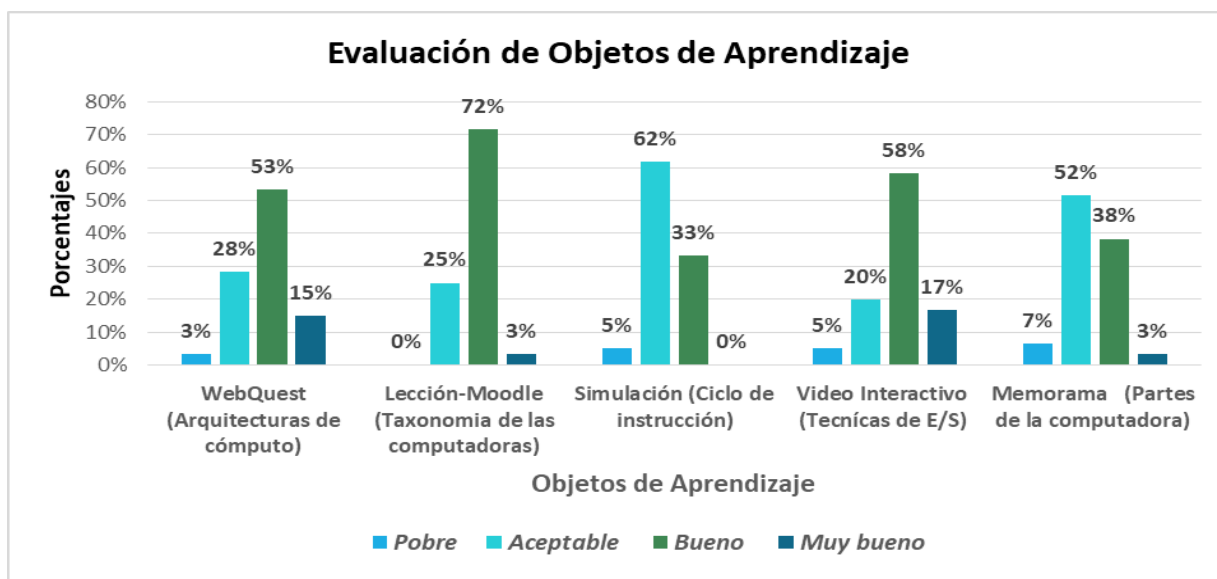


Figura 7. Evaluación de los objetos de Aprendizaje incorporados al curso virtual.

Trabajo a futuro

Al concluir este trabajo, queda pendiente aplicar al instrumento desarrollado para evaluar la calidad del curso virtual e impacto en el aprendizaje un análisis factorial exploratorio con el objetivo de determinar la consistencia de los ítems en cada una de las dimensiones propuestas, reduciendo la cantidad de ítems en cada factor dimensional, garantizando con ello que los resultados obtenidos por los instrumentos permita una mayor explicación del fenómeno de estudio, de manera que el instrumento pueda ser aplicado en cualquier población; se requiere además, realizar un instrumento propio para validar la calidad y pertinencia de los objetos de aprendizaje.

A su vez, es importante realizar una validación por otros docentes de la misma área de conocimiento de los materiales y recursos construidos, así como, de las estrategias de aprendizaje desarrolladas con la finalidad de retroalimentar con sus observaciones tanto el diseño del curso como las estrategias y secuencias didácticas, para realizar los ajustes pertinentes, posibilitando un mayor impacto en el proceso de aprendizaje de los estudiantes.

También es necesario incorporar los objetos de aprendizaje diseñados a otros cursos de la misma área de conocimiento, y evaluar así, el impacto en el aprendizaje de los estudiantes realizando una contrastación de los resultados en el desempeño académico de los grupos de estudio.

Conclusiones

Considerando que hoy en día, para los estudiantes el uso de los recursos digitales son una importante que les permite comprender y aprender temas de una manera más dinámica en la adquisición de sus conocimientos, en este sentido los recursos digitales se ha convertido en herramientas que les facilita su proceso de enseñanza aprendizaje.

Algunos recursos digitales como los *objetos de aprendizaje* conforman una parte importante de los contenidos temáticos de los cursos en ambientes virtuales de aprendizaje, para apoyar en el desarrollo de las competencias genéricas y específicas que los estudiantes deben adquirir a lo largo de su trayectoria escolar, es por ello, la importancia de validar la pertinencia de estos para que cumplan con su objetivo, por lo que se requiere que sean diseñados e implementados de acuerdo a las necesidades de los estudiantes, además de que dichos OA deben ser evaluados por los estudiantes, verificando si son o no adecuados para el proceso de enseñanza aprendizaje en cada materia donde se implementen.

Es por ello, que los docentes que conformamos el cuerpo académico del Tecnológico Nacional de México campus Querétaro consideramos importante implementar en los cursos recurso digitales que permitan a los estudiantes regular su aprendizaje, dentro de los cuales se encuentran los Objetos de Aprendizaje que permiten incorporar elementos pequeños de contenido educativo en cada uno, y así lograr aportar en el desarrollo de los objetivos educacionales y los atributos de egreso de un Ingeniero en Sistemas Computacionales.

En el caso de los objetos de aprendizaje diseñados para la materia de Arquitectura de Computadoras del programa de estudio de Ingeniería en Sistemas Computacionales, éstos cumplieron con el objetivo establecido de proporcionar los contenidos temáticos y la transmisión del conocimiento con actividades más interactivas facilitando a los estudiantes la adquisición de conocimientos de manera más significativa, de acuerdo a sus competencias generacionales.

Referencias

- [1] A. F. Alfonso y J. C. Sabogal. "Diseño e Implementación de un Ambiente Virtual de Aprendizaje, para Evaluar el Efecto del Modelo Addie, en la Enseñanza de los Sistemas Mecánicos". Tesis de Licenciatura. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá. Col. 2019.
- [2] M.E. Montes et al. "Análisis para desarrollar un ambiente virtual para la acción tutorial basado en el modelo ADDIE". *Journal CIM*, vol. 5, no.2, pp.1612-1619, Octubre 2017.
- [3] L. Samboy. "La reusabilidad y empaquetamiento de objetos de aprendizaje". [En línea]. Disponible en: <http://aulas.crefal.org/aulas2017/maestriaDEVA/mod/resource/view.php?id=516>. [Recuperado: 19-feb-2018].
- [4] B. N. Jiménez. "Objetos de aprendizaje y su relación con la enseñanza de la física". Tesis de Maestría. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador. 2018.
- [5] "Moodle plugins directory", Moodle.org, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://moodle.org/plugins/>

- [6] S. R. Rossetti et al. "Contenido Interactivo con H5P". *EPISTEMUS*, vol.26, pp. 59-62, Junio 2019.
- [7] L. Alemán. "Modelo de indicadores de calidad para cursos en-línea, masivos y abiertos (MOOC). Caso de un MOOC para el desarrollo profesional docente". 1ra. Ed. CDMX: Editora Nómada, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=e6fdDwAAQBAJ&pg=>
- [8] J. Arias. "Evaluación de la calidad de Cursos Virtuales: Indicadores de calidad y construcción de un cuestionario de medida. Aplicación al ámbito de asignaturas de Ingeniería Telemática". Tesis doctoral. Universidad de Extremadura. España. 2007.
- [9] M. Soto. "Desarrollo y utilización de un objeto de aprendizaje para el estudio de consultas estructuradas en una base de datos de SQL server". *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, vol. 2, 1-20, Junio 2015.

Retos y beneficios al implementar la mentoría en la carrera de ingeniería en sistemas computacionales

S. Jiménez Hernández^{1*}, M. G. Balderrábano Saucedo², C. A. Santillán Silva³

¹Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Tecnológico Nacional de México/I.T. Zacatecas
Carretera Panamericana S/N Crucero a Guadalajara, C.P. 98000, Zacatecas, Zac.

*silvia.jimenez@zacatecas.tecnm.mx

²Departamento de Ciencias Económico Administrativas, Tecnológico Nacional de México/I.T. Orizaba
Oriente 9 No. 852 Col. Emiliano Zapata, Orizaba, Veracruz

maria.bs@orizaba.tecnm.mx

³Estudiante de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales TecNM/I.T. Zacatecas
118450538@zacatecas.tecnm.mx

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

El proyecto aborda los retos y beneficios de la implementación de la mentoría grupal en línea, donde se dio seguimiento durante tres semestres a un promedio de 17 estudiantes de la carrera de ingeniería en sistemas computacionales, pertenecientes al Tecnológico Nacional de México (TecNM) con sede en el Instituto Tecnológico de Zacatecas (ITZ), con la participación de tres mentores locales, un mentor nacional y tres mentores internacionales. La metodología implementada inició con 17 estudiantes del quinto semestre a los cuales se les asignaron mentores locales, posteriormente ya en sexto semestre bajo la guía de un mentor nacional y en séptimo semestre acompañados por mentores internacionales. Los hallazgos indican que los estudiantes aplicaron sus conocimientos teóricos en acciones prácticas, se logra empoderar a los estudiantes y dos de ellos aplicaron su examen para el proceso de selección como residentes de ingreso en empresas internacionales y lo acreditaron.

Palabras clave: Mentoría, Acompañamiento, Guía.

Abstract

The project addresses the challenges and benefits of implementing online group mentoring, where an average of 17 computer systems engineering students from Tecnológico Nacional de México (TecNM) based at Instituto Tecnológico de Zacatecas (ITZ) were followed for three semesters, with the participation of three local mentors, one national mentor, and three international mentors. The methodology implemented began with 17 students in the fifth semester who were assigned local mentors, then in the sixth semester under the guidance of a national mentor, and in the seventh semester accompanied by international mentors. The findings indicate that the students applied their theoretical knowledge in practical actions and were empowered, and two of them applied and passed their exam for the selection process as residents for admission to international companies.

Key words: Mentoring, Accompaniment, Guidance.

Introducción

“La mentoría o *mentoring* es una relación educativa entre un mentor y un aprendiz a quien enseña, escucha, comparte, acompaña, apoya y guía en su camino de aprendizaje”. La mentoría en el ámbito educativo da inicio en la década de los 90 para la formación del profesorado y entre pares para mejorar el éxito escolar. En los últimos años se ha utilizado a la mentoría como una tendencia educativa emergente [1].

En la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ) se implementó la mentoría de pares la cual tenía como objetivo “resolver el problema de los alumnos rezagados y favorecer el desarrollo de los estudiantes académicamente más aventajados a través del encuentro mentor-mentoreado”. En mayo del 2005, puso en marcha el CASE, instancia que brindaba atención integral a estudiantes a través de diferentes programas con apoyos específicos,

los beneficios para el mentor consistían en la condonación de la cuota de inscripción al programa, el servicio de comedor gratuito y la liberación del servicio profesional, mientras que para el mentoreado era mejorar los conocimientos e integrarse de manera activa al grupo académico perteneciente [2].

En un estudio se muestra cómo impacta la mentoría en “dos grupos de jóvenes estudiantes de periodismo y jóvenes adolescentes en tratamiento por diferentes adicciones y trastornos”, en donde la percepción de los jóvenes les permite conocer la realidad a través de las actividades realizadas. Esta experiencia permitió a los estudiantes de periodismo desarrollar una actitud crítica, toma de conciencia de los problemas sociales y la experiencia en ambos grupos ha contribuido a mejorar su autoestima [3].

El estudio “Buena mentoría y buen mentor” permitió “contextualizar adecuadamente la mentoría en los programas de inducción a directores escolares novatos”. Entre algunos de los factores clave que deben ser considerados dentro de la mentoría destacan: la selección de los mentores, la preparación de los mentores y mentoreados, la afinidad entre ambos actores, la metodología, el seguimiento y evaluación, así como las consideraciones éticas donde los estudiantes dan consentimiento informado para participar voluntariamente en el estudio [4].

En 2020 la UNAM lanza un convenio de colaboración para impulsar la iniciativa “Acelera UNAM: Innovación y Emprendimiento” que pretendía formar una red de mentores con profesores y exalumnos, líderes auténticos dispuestos a compartir su tiempo y experiencia para ayudar a jóvenes emprendedores de la comunidad UNAM a través de mentorías estratégicas y talleres con el fin de convertir a sus proyectos de emprendimiento en grandes casos de éxito. La convocatoria logró captar un total de 50 proyectos de los cuales se seleccionaron cinco proyectos de emprendedores universitarios a los que se les brindó el acompañamiento [5].

El presente proyecto surge derivado a que durante el período 2017 al 2020 se realizaron algunos proyectos que surgieron en el aula escolar, en donde se logra contactar a egresados de generaciones previas invitándoles a participar como asesores externos de proyectos realizados en las asignaturas en cuestión, con el fin de retroalimentar con un enfoque empresarial a los jóvenes estudiantes. La vinculación con los egresados y el participar los docentes como mentores en eventos realizados por el Consejo Zacatecano de Ciencia, Tecnología e Innovación (COZCYT), el centro de apoyo para los emprendedores (Factoría) y la Universidad Politécnica de Zacatecas (UPZ), permitió ampliar la red de contactos y ubicarlos en algunas empresas locales, nacionales e incluso internacionales. Está dinámica fue y ha sido funcional sin signar convenios de ningún tipo por lo que el apoyo que se brinda es de forma desinteresada a manera de retribuir a su institución.

Durante ese período se invitó semestre con semestre a recién egresados a formar un grupo de mentores locales con la finalidad de dar acompañamiento en el desarrollo de proyectos de software y a través de su experiencia motivaran a los nuevos estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, lo que les permitiría desarrollar habilidades y oportunidades de mejora para sus proyectos. El ciclo se repite ya que al egresar se les invitaba a participar voluntariamente como mentores de los siguientes estudiantes.

Tras observar que había interés por parte de algunos líderes de las empresas de software por dar acompañamiento a los estudiantes y el vínculo establecido con egresados, se decide implementar un proyecto un poco más ambicioso el cual nuevamente surge del aula escolar. Realizar: la mentoría grupal, la cual no solamente se concretara en un semestre y que el acompañamiento no se limitara únicamente a líderes locales, sino, que pudiera incorporarse el enfoque de líderes nacionales e internacionales perfectamente identificados.

En la mentoría grupal se lleva a cabo un proyecto en donde no se establecen relaciones de mentoría individual, sino que su acción está orientada al beneficio del grupo, a su objetivo o propósito compartido [1]. Cabe mencionar que existen diferencias entre la asesoría y la mentoría, en la primera la acción fundamental es la resolución de problemas, mientras que en la segunda es el diálogo y la ayuda, el propósito en la primera es el resolver o corregir problemas de aprendizaje, mientras que en la segunda es el crecimiento personal y profesional del aprendiz, el plazo en la primera es corto mientras que en la segunda es largo [1].

Este artículo se estructura de la siguiente forma: en primer lugar, se presenta la metodología implementada en donde se muestran las tres fases de la aplicación de la mentoría grupal, posteriormente se hace alusión a los resultados y la discusión, seguido de la propuesta de trabajo futuro, las conclusiones y las referencias utilizadas.

Metodología

La metodología utilizada en el proyecto de investigación fue bajo el diseño no experimental, dada la ausencia de manipulación de variables. La investigación se cataloga como descriptiva la cual busca especificar las propiedades, características y los perfiles de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre las variables a las que se refiere [6].

A continuación, se describe el proceso metodológico que se utilizó para llevar a cabo la implementación de la mentoría grupal.

Planeación

La planeación del proyecto se origina durante la pandemia donde el cierre de las aulas derivada de esta situación propició una forzada migración a la modalidad en línea, vislumbrando con ello un escenario distinto en donde habría cambios significativos en la interacción estudiante-docente con la finalidad de mantenerse saludables, lo que implicaba poner distancia a la cercanía humana [7].

De este modo, se decide aprovechar las bondades que ofrecen las tecnologías de información y comunicación para establecer un mayor acercamiento con los mentores locales, nacionales e internaciones que estuvieran dispuestos a colaborar de manera responsable y comprometida en brindar acompañamiento a los estudiantes durante su proceso formativo mediante la mentoría grupal en línea.

La duración del proyecto se trazó a un período de tres semestres dando inicio en agosto-diciembre de 2020 con estudiantes del quinto semestre que estuvieran cursando la asignatura de Fundamentos de Ingeniería de Software y que de manera voluntaria decidieron participar en el proyecto bajo el acompañamiento de mentores locales. Posteriormente durante el semestre enero-junio de 2021 se planeó que la guía corriera a cargo del mentor nacional el cual dio seguimiento a estudiantes de sexto semestre que cursaran la asignatura de Ingeniería de Software y que de manera voluntaria desearon continuar con el proceso de la mentoría grupal, preferentemente que hubieran acreditado las asignaturas y haber participado en el proyecto que se le asignó en quinto semestre. Para el semestre agosto-diciembre de 2021 se involucraron a los mentores internacionales y nuevamente se solicitó la participación voluntaria de los estudiantes de séptimo semestre para llevar a cabo el proyecto, que cursara la asignatura de Gestión de Proyectos de Software, preferentemente haber acreditado las asignaturas de sexto semestre y haber participado en el proceso de acompañamiento con mentores locales y nacionales.

Desarrollo

A fin de apoyar a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en la adquisición de habilidades y competencias que demanda el mundo profesional y laboral, el objetivo de este proyecto fue relacionarlos con expertos en la industria del desarrollo de software.

Los actores involucrados en el proceso de la mentoría grupal se conformaron de la siguiente manera:

- Estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales.
- Mentores
 - 3 mentores locales.
 - 1 mentor nacional.
 - 3 mentores internacionales.
- Docente de la asignatura en cuestión.

Pasos para la implementación

Para poder dar inicio al programa de mentoría grupal fue necesario realizar una serie de pasos que permitiera acercar a los actores involucrados en el proceso:

- Se dialogó con el jefe del programa educativo de Ingeniería en Sistemas Computacionales logrando que aprobara la implementación del proceso de la mentoría grupal gestado desde el aula escolar.

- Se obtuvo la aceptación voluntaria de los estudiantes en cada uno de los semestres para participar en el proyecto de mentoría.
- Se contactaron a los mentores locales, nacionales e internacionales que acompañaron a los estudiantes durante el proceso. Esto se logró gracias al establecimiento del vínculo con los egresados que contactó el docente a cargo de las asignaturas.
- Se construyó la relación conociendo las figuras implicadas para establecer confianza.
- Se realizó una primera reunión con las empresas locales para discutir e intercambiar puntos de vista que permitieran gestionar las expectativas mutuas, sobre los antecedentes, experiencias e intereses.
- Se acordó el grado de responsabilidad de cada uno de los implicados, el diseño de la metodología de trabajo conjunto.
- Se estableció la periodicidad de las reuniones con el orden del día de los temas a tratar.
- Se mostró el portafolio de proyecto por parte de las empresas acorde al nivel de conocimientos de los estudiantes para cada uno de los semestres.
- Se asignó un lapso para que los estudiantes analizaran y verificaran cuál sería su área de interés.
- Se asignaron los proyectos y los integrantes pertenecientes a cada uno de los equipos.

Partiendo de la premisa que en toda institución educativa no se tiene garantía de que los estudiantes que inician en un semestre lo lleguen a concluir, tampoco es garantía que los que terminan un semestre inicien en su totalidad el siguiente semestre y que probablemente se sumen otros estudiantes, todo ello por diversos factores tanto académicos como no académicos. Por lo que el proyecto de la mentoría grupal se encuentra en el mismo contexto, y se podrá apreciar en las fases que a continuación se describen, que en el seguimiento hay un número diferente de estudiantes a lo largo de los semestres involucrados.

El proyecto de mentoría grupal se planeó con una duración de tres semestres en donde se involucraron diferentes actores y con una estructuración por fases, siendo estas las siguientes:

Fase I

La primera fase inició en agosto-diciembre 2020 con 17 estudiantes del quinto semestre conformado por 15 hombres y 2 mujeres, los cuales no se eligieron bajo ningún criterio, sino que fueron los estudiantes que en ese momento se inscribieron. En esta primera fase se contó con la participación de tres mentores locales, todos ellos egresados del ITZ, dos de ellos pertenecientes a la empresa Nexus Solution y uno a la empresa Smart Lines, dispuestos a colaborar en el proyecto en modalidad en línea.

En este semestre los estudiantes cursaron la asignatura de Fundamentos de Ingeniería de Software, cuya competencia marcada por el programa establece que el estudiante: “Realiza el análisis de un proyecto de software, a partir de la identificación del modelo de negocios de la organización que permita alcanzar estándares y métricas de calidad” [8]. En esta asignatura es relevante el levantamiento de requisitos en donde la triple restricción del tiempo, costo y alcance son fundamentales para el éxito de un proyecto. El rol del mentor fue auxiliar a los estudiantes en el desarrollo de proyectos con clientes externos y apoyarlos en la gestión de las comunicaciones requeridas para la realización de dicha interacción.

Fase II

La segunda fase inició en el semestre enero-junio de 2021 con la participación de 18 estudiantes del sexto semestre, conformado por 16 hombres y 2 mujeres. Se contactó a un mentor nacional egresado del ITZ con gran experiencia en el ramo de desarrollo de software, el cual mostró su interés en participar en el proyecto, brindando atención en línea. Actualmente desarrolla sistemas clínicos (*freelance*) y a su vez trabaja en una empresa de autopartes en el área de sistemas.

La asignatura que se cursó fue Ingeniería de Software. En esta asignatura es importante que los estudiantes logren la competencia que establece el programa la cual establece que el estudiante: “Desarrolla soluciones de software, considerando la metodología y herramientas para la elaboración de un proyecto aplicativo en diferentes escenarios” [8], por lo que el rol del mentor fue mostrar cómo se desarrolla un proyecto utilizando metodologías, marcos de trabajo y herramientas en la empresa.

Fase III

La tercera fase inició en agosto-diciembre de 2021 con 15 estudiantes de séptimo semestre, conformados por 14 hombres y 1 mujer, tres mentores internacionales, uno de ellos egresado del ITZ que actualmente se desempeña como *Senior Software Engineer* en Airbnb, los otros dos egresados de la UNAM a los cuales se logra establecer relación mediante la red de contactos, uno trabaja en Oracle Corporation y el otro en Google, todos ellos dispuestos a realizar la mentoría grupal.

La asignatura que se cursó en esta fase fue Gestión de Proyectos de Software cuya competencia es: “Aplica metodologías e instrumentos, para garantizar la gestión adecuada de un proyecto de software” [8]. En esta asignatura es importante que los estudiantes gestionen un proyecto de software de carácter multidisciplinario, a fin de trabajar las competencias genéricas que exige su formación profesional por lo que el rol de los mentores fue presentar a los estudiantes ejemplos reales de gestión de software con enfoque de empresas internacionales (ver Tabla 1).

Tabla 1. Fases de la mentoría grupal.

Criterio	Fase I	Fase II	Fase III
Semestre	Quinto	Sexto	Séptimo
Asignatura	Fundamentos de ingeniería de software	Ingeniería de software	Gestión de proyectos de software
Mentores	Locales	Nacionales	Internacionales
Período	Agosto-diciembre 2020	Enero-junio 2021	Agosto-diciembre 2021
Estudiantes	17	18	15

El rol del mentor durante este proceso de acompañamiento ha sido de gran apoyo para los estudiantes dado que les ha permitido el generar consciencia de sus potencialidades, poner en práctica sus competencias y habilidades, así como lograr aprendizajes que sin duda se han reflejado en la mejora de sus proyectos [9].

En la Figura 1 se puede apreciar el rol que tuvieron los mentores durante el proceso de la mentoría grupal y las empresas en las que laboraban.

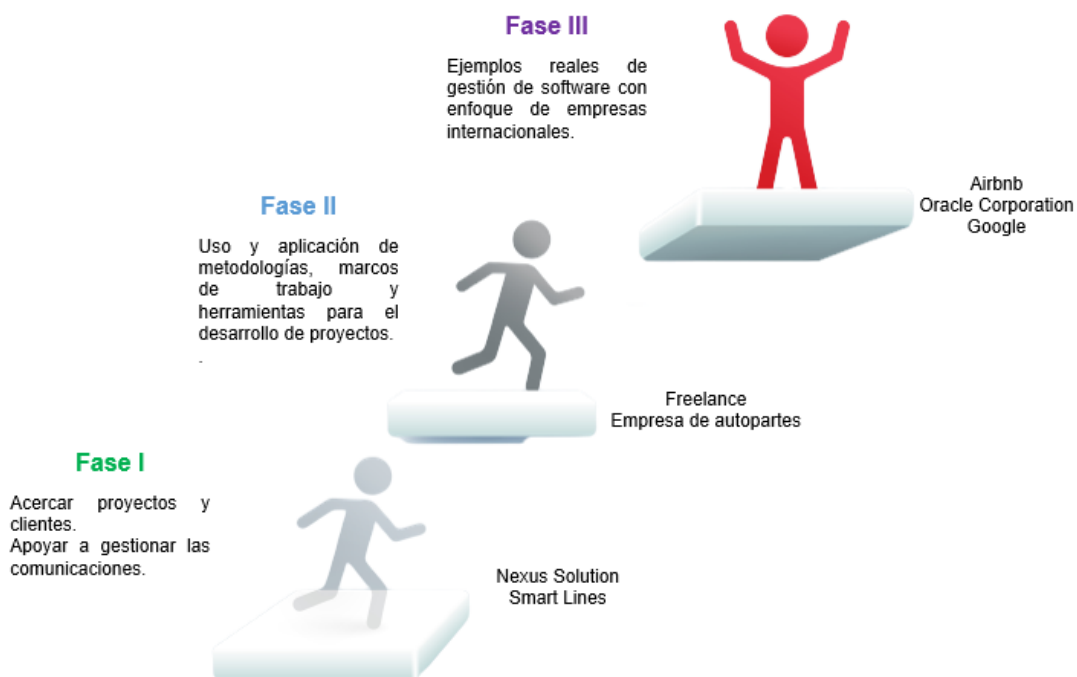


Figura 1. Rol de mentores y empresa en la que laboraban, elaborada con iconos de macrovector [10].

Resultados y discusión

Lo fundamental de este proyecto son las mentorías en donde de manera voluntaria participaron estudiantes y mentores en un tiempo determinado de tres semestres, logrando fomentar nuevas metodologías activas de enseñanza-aprendizaje, impulsar la actualización de contenidos, metodología y problemas desde la lógica de ingeniería de software. Con la puesta en práctica en un contexto real los estudiantes dan pasos para ser sujetos activos en su proceso de aprendizaje logrando con ello aprendizajes significativos con resultados tangibles.

La Fase I inició con 17 estudiantes de los cuales acreditaron el 82%, quedando solamente 14 de los estudiantes que iniciaron, durante la Fase II se incorporaron al proceso de la mentoría grupal cuatro nuevos estudiantes quedando conformado el grupo por 18 estudiantes, de los cuales logran acreditar el 83% manteniéndose los 14 estudiantes que iniciaron el proceso y solamente uno de los que se incorporaron. Por último, la Fase III inició con nueve de los estudiantes que arrancaron en el proceso, se mantuvo el estudiante que se incorporó en la Fase II y se incorporan cinco estudiantes más, quedando el grupo conformado por un total de 15 estudiantes. Al concretar esta fase logran acreditar el 67% de los estudiantes, de los cuáles se mantuvieron los nueve estudiantes que inician el proceso y solo uno que se incorporó en la Fase II.

Durante el proyecto se puede observar que los 17 estudiantes que ingresaron lamentablemente no concretan en su totalidad, esto no significa que los estudiantes no hayan acreditado el proyecto que demandaba la asignatura, la pandemia trajo consigo algunos factores que imposibilitaron la salida total de los estudiantes entre las que se destacan: la economía familiar, la falta de acreditación de otras asignaturas que imposibilitó a estudiantes de sexto semestre dar continuidad al proceso, el empalme de horarios entre otras.

En este proyecto la salida y la incorporación de estudiantes no se considera afectación alguna dado que la finalidad es que los estudiantes logren integrar sus estrategias prácticas con las teóricas, siendo de gran ayuda el contar con la visión de mentores locales los cuales permiten un acercamiento a la realidad, los mentores nacional por su parte le permite al estudiante tener una perspectiva de proyectos de mayor alcance y los mentores internacionales los sensibiliza a administrar proyectos de carácter global (ver Tabla 2).

Tabla 2. Cumplimiento del proceso de la mentoría grupal.

Fase I		Fase II		Fase III	
Inicio	Fin	Inicio	Fin	Inicio	Fin
17	14	14	14	9	9
		4*	1	1	1
				5*	0

Nota: * Estudiantes que se incorporan durante la fase.

Algunos de los beneficios que se rescataron por parte de los estudiantes que recibieron la mentoría son:

- Participación en proyectos de desarrollo con clientes reales.
- Reafirmar la pasión por la programación.
- Desarrollo Web.
- Aprendizaje de nuevas prácticas.
- Seguridad para interactuar con otros.
- Uso de herramientas para trabajar a distancia.
- Conocimiento de limitaciones.
- Aprender de desarrolladores *Full Stack*.
- Innovación.
- Acompañamiento socioemocional.

Por otro lado, se mencionan algunas aplicaciones y herramientas que fueron de gran utilidad durante el desarrollo de proyectos apoyado por la mentoría:

- Laravel PHP.
- Javascríp.
- NodeJS.
- React.

- Bootstrap.
- TeamViewer.
- Visual Studio.
- Github.
- SCRUM.

El grupo de mentores lo conformó en su mayoría egresados del ITZ que desempeñan su actividad profesional en empresas desarrolladoras de software y que aportaron su conocimiento ya adquirido al apoyo de los estudiantes, una vez que egresan se repite el ciclo. Con los encuentros entre mentores y estudiantes se quiere ayudar a disipar dudas y objeciones sobre su profesión, motivación y afianzar su autoestima. En este sentido es importante señalar que: “La mejor forma de predecir el futuro es crearlo, anticipar e invertir en las oportunidades del mañana” [11].

Por su parte, los mentores manifestaron que desafortunadamente cuando ellos iniciaron sus estudios en las universidades e instituciones educativas no se tenía un programa de mentoría como este, por lo que, al concretar su formación académica, su crecimiento como desarrolladores requirió tiempo, disciplina y autoaprendizaje. Derivado de lo anterior los mentores destacan que este proceso fue gratificante dado que permitió brindar apoyo a los estudiantes, tanto en el desarrollo de habilidades duras como blandas y lo más significativo fue la satisfacción personal que esto representó. A continuación, se mencionan los principales beneficios:

- Feedforward enfocado al incremento de posibilidades futuras.
- Transferencia de conocimiento eficaz.
- Comunicación, confianza y liderazgo.
- Adquisición de nuevo conocimiento.
- Fortalecimiento del conocimiento.
- Trabajo en equipo.
- Visualización de errores.
- Aplicación de diferentes metodologías.
- Mejora continua.
- Oportunidad de crecimiento.
- Detección de talentos.
- Apoyo a los jóvenes con la experiencia que se tiene en la industria para que en el futuro puedan afrontar los retos de mejor manera.
- Desarrollo de la paciencia.
- Mostrar a los jóvenes estudiantes la relevancia de la ingeniería de software.
- Compromiso, respeto, dedicación y tiempo.

Uno de los retos más importantes a considerar, es el tiempo invertido para dar seguimiento al proceso dado que se requirió de una planeación y seguimiento exhaustivo para realizar por primera vez este proceso, una vez ya iniciado sólo se requiere afinar algunos aspectos. Hay que mencionar que el tamaño de la población implicada es aparentemente bajo, sin embargo, en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del ITZ conforme se avanzan los semestres se van reduciendo la cantidad de estudiantes.

Trabajo a futuro

Como trabajo futuro se considera la posibilidad de la celebración de convenios con las empresas.

Escalar el proyecto con un mayor grado de madurez al TecNM con la finalidad de que no solamente se aplique en Zacatecas y en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, sino que pueda aplicarse en todas las carreras de todos los campus pertenecientes al TecNM.

Conclusiones

Las instituciones educativas de nuestro país muestran el uso de la mentoría, en algunas de ellas se establece la mentoría de pares, en otras se involucran a empresas con la finalidad de apoyar el emprendimiento de sus estudiantes y en otras tantas se observa que de forma natural acercan a sus estudiantes con distintos mentores hasta el posgrado. Dentro del ámbito de la docencia es importante desarrollar la humildad y reconocer que como

docentes el aprendizaje es inagotable y que implica compromiso, responsabilidad y pasión por lo que se hace. Acercar a los estudiantes al mundo real, se obtiene a través de la práctica de proyectos que le permitan al estudiante enfrentar retos antes de egresar bajo el acompañamiento de profesionales tanto internos como externos.

Realizar un proyecto de mentoría con egresados y expertos en la industria del desarrollo del software ha sido una experiencia satisfactoria, sin duda la vinculación previa de colaboración con empresas y estar en constante contacto con egresados de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales ha permitido hacer tangible este trabajo. Un proyecto de esta magnitud no podría llevarse a cabo si los estudiantes participantes no están dispuestos y comprometidos a enfrentar el reto de tener mentores externos que no serán sus maestros, de igual forma es indispensable contar con egresados y expertos dispuestos a aportar un granito de arena a los conocimientos de los estudiantes en formación y a los docentes que tengan la convicción de hacer cosas nuevas y diferentes en el sector educativo, lógicamente con el respaldo del jefe del programa educativo.

Logra la sinergia de todos los involucrados del equipo ha sido una tarea ardua la cual inició en el año 2017 con mentores locales y que aún está en proceso de mejora continua cada semestre. Los beneficios que se obtuvieron de esta investigación fueron: dar cumplimiento al objetivo establecido, así como lograr que de los nueve estudiantes que concretaron el proceso completo de los tres semestres de la mentoría grupal, dos de ellos aplicaron su examen para acceso a realizar sus residencias profesionales en empresas internacionales y lo acreditaron, los siete restantes realizan sus residencias en empresas locales. Lo trascendental de contar con mentorías es que los estudiantes tengan un enfoque real de su carrera antes de cursar las residencias profesionales, lo que les permitirá adaptarse al mundo empresarial rápidamente, el desarrollo profesional es muy satisfactorio ejemplo de ello es que se hace participe de este artículo a uno de los estudiantes participantes en el proceso de mentorías

Referencias

- [1] Observatorio de Innovación Educativa, "Mentoring," *EduTrends -ITESM, Campus Monterrey*, no. 12, pp. 1-30, 2017.
- [2] E. B. Alejo Mayorga, and F. L. Rochín Berumen, "Manual de Procedimientos del Programa Institucional de Mentorías (PIME) de la Universidad Autónoma de Zacatecas," *UAZ*, pp-1-20, 2022.
- [3] C. Lacalle Zalduendo y C. Pujol Ozonas, "Mentoria e integracion social en la Universidad: el aprendizaje-servicio en un proyecto del grado de periodismo," *Educación XX1*, vol 22, no. 2, pp. 289-308, 2019, doi: 10.5944/educXX1.22694.
- [4] C. Cuellar Becerra, M. P. González Vallejos, M. J. Espinoza Aguirre, and R. Cheung, "Buen mentor y buena mentoría según actores de programas de inducción a directores novatos chilenos," *Psicoperspectivas*, vol. 18, núm. 2, pp. 33-46, 2019, doi: 10.5027/perspectivas-vol18-issue2-fulltext-1543.
- [5] FES-Acatlán, "Acelera UNAM: Innovación y emprendimiento," *UNAM*, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://www.acatlan.unam.mx/acceleraunam/>. [Accedido en: 16-jun-2022]
- [6] R. Hernández Sampieri y C. P. Mendoza Torres, "Metodología para la Investigación, Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta,". México: Mc Graw Hill Education, 2018.
- [7] IISUE, "Educación y pandemia. Una visión académica," UNAM, pp. 1-315, 2020, <http://www.iisue.unam.mx/nosotros/covid/educacion-y-pandemia>
- [8] TecNM, "Planes y Programas de Estudio 2009-2017," *TecNM*, pp. 1-12, 2016, [En línea]. Disponible en: <https://www.tecnm.mx/normateca/Direcci%C3%B3n%20de%20Docencia%20e%20Innovaci%C3%B3n%20Educativa/Planes%20y%20Programas%20de%20Estudio%202009-2017/Ing%20en%20Sistemas%20Computacionales.zip>. [Accedido en: 20-jul-2022]
- [9] Talentix Enclave de Soluciones, S.L.L., "Implantacion de un programa de mentoring en la empresa," [En línea]. Disponible: <https://www.talentix.es/mentoring.php>
- [10] Freepik, "Infografías paso a paso. pasos para el éxito," creado por macrovector, [En línea]. Disponible: https://www.freepik.es/vector-gratis/infografias-paso-paso-pasos-exito_10705140.htm#query=escaleras&position=2&from_view=search#page=1&query=e&from_query=undefined&position=1&from_view=search. [Accedido en: 20-may-2022]
- [11] E. Haas Edersheim, "Enseñanzas de Peter Drucker," *McGraw Hill / Interamericana de México*, pp. 1-304.02/05/2012/ 2012. [Accedido en: 11-jul-2022]

Validez y confiabilidad de un instrumento adaptado para medir el tecnoestrés en docentes

N. G. Acosta Luna ^{1*}, M. Dávila Hernández², M. Vargas Urbina³, A. Martínez Guzmán⁴, K.F. Serrato Guarneros⁵
^{1,2,3,4} Jefatura de la División de la Licenciatura en Administración e Ingeniería en Gestión Empresarial, Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, Av. 16 de septiembre, No. 54, Coacalco de Berriozábal Estado de México, México.
⁵ Coordinación de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, Av. Instituto Tecnológico s/n, La Comunidad, 54070 Tlalnepantla de Baz, México.

[*nelly.guadalupe@tesco.edu.mx](mailto:nelly.guadalupe@tesco.edu.mx)

Área de participación: Investigación educativa

Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar la validez y confiabilidad de un instrumento adaptado del cuestionario original de tecnoestrés de Salanova. El instrumento original está constituido por 16 reactivos con 7 opciones de respuesta. El cuestionario fue aplicado a 150 docentes de diferentes Instituciones de Educación Superior. La validez de constructo se determinó por medio de análisis factorial, utilizando el software SPSS. Como resultado se obtuvo un instrumento confiable con evidencia de validez de constructo constituido por 24 reactivos agrupados en 3 factores.

Palabras clave: Tecnoestrés, validez, confiabilidad

Abstract

The objective of this research was to determine the validity and reliability of an instrument adapted from the original Salanova technostress questionnaire. The original instrument consists of 16 reagents with 7 response options. The questionnaire was applied to 150 teachers from different Higher Education Institutions. Construct validity was determined by factor analysis, using SPSS software. As a result, a reliable instrument was obtained with evidence of construct validity consisting of 24 items grouped into 3 factors.

Key words: Technostresses, validity, reliability

Introducción

El 31 de diciembre de 2019, la Organización Mundial de la Salud (OMS), recibió reportes de presencia de neumonía de origen desconocido en la ciudad de Wuhan, en China. Rápidamente a principios de enero las autoridades de este país identificaron la causa como una nueva cepa de coronavirus. La enfermedad ha ido expandiéndose hacia otros continentes como: Asia, Europa y América. La OMS, nombró a esta enfermedad COVID-19 y el 11 de marzo de 2020 fue declarada una pandemia en México. [1]

Por lo anterior, docentes, administrativos, alumnos y demás comunidad que conforman los diferentes Tecnológicos de Estudios Superiores, procedieron a adaptar nuevas herramientas tecnológicas fuera de las aulas, oficinas, etcétera, para seguir brindando servicio educativo y seguimiento a los estudiantes. Para algunos docentes fue difícil el uso y manejo de algunas herramientas tecnológicas y la resistencia al cambio para trabajar bajo este esquema, algunos por medio de tutoriales iniciaron actividades, pero esta situación ocasionó ansiedad, estrés, fatiga, cansancio, enojo, frustración e incertidumbre ante el manejo de las TIC por los requerimientos, por la forma de aplicarla, detonó nerviosismo por temor a perder información importante, y que, además se requirió invertir tiempo extra fuera del horario asignado para preparar clases, revisar actividades y exámenes, hasta muy altas horas de la noche.

El concepto de tecnoestrés, tal y como el propio nombre deja entrever, está íntegramente relacionado con los efectos que ha originado la disruptiva implantación de las tecnologías de la información y la comunicación, también conocidas por sus siglas "TIC", incidiendo negativamente en el bienestar físico y mental de las personas.

El tecnoestrés supone una conexión constante a las nuevas tecnologías que pueda generar fatiga, estrés y otros trastornos y patologías relacionados con el uso continuado (ansiedad, depresión, dificultades de concentración, burnout y alteraciones en el sueño, cefaleas, dolores musculares, trastornos gastrointestinales, fatiga, entre otros). [2].

En México, el confinamiento por COVID-19 cambió diversos ámbitos de la vida, entre ellos el ámbito de la educación que ha presentado diferentes desafíos como: la forma de trabajar, de estudiar, de relacionarse y adaptarse a las nuevas tecnologías, en las cuales la sociedad no estaba preparada, sobre todo, los docentes que han tenido que atravesar diferentes complicaciones y les ha provocado ansiedad, fobia, adicción, estrés, así como agotamiento que los está arrastrando a un tecnoestrés. Para medir el tecnoestrés existe un instrumento válido y confiable, constituido por 16 reactivos agrupados en los siguientes factores: La tecnoansiedad es el tipo de tecnoestrés más conocido y consiste en que el trabajador experimenta altos niveles de activación fisiológica no placentera, así como tensión y malestar por el uso presente o futuro de algún tipo de TIC; la tecnofatiga se caracteriza por sentimientos de cansancio y agotamiento mental debido al uso excesivo de las TIC y la tecnoadicción un uso compulsivo incontrolable de las TIC, durante largos períodos de tiempo y en cualquier lugar. [3]. Desafortunadamente las complejidades en que trabajan los docentes, como consecuencia del COVID-19, son inéditas, por lo que se considera que el instrumento antes mencionado debe incluir aspectos adicionales para considerar los cambios que se presenten y mejorar las prácticas docentes y educativas.

Metodología

Materiales

El presente estudio tiene el objetivo de determinar la validez de constructo y confiabilidad de un instrumento adaptado para medir el tecnoestrés, la investigación es de tipo cuantitativa descriptiva con una muestra no probabilística constituida por docentes que laboran en los siguientes tecnológicos: Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo), Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE), Instituto Tecnológico de Tlalnepantla (ITTLa) y Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli (TESCI), que estuvieran dispuestos a participar.

Preparación

Se adaptó un instrumento que mide el tecnoestrés, el instrumento original está constituido por 16 reactivos (desarrollado por Salanova); al cual se agregaron 13 reactivos más, contextualizándolos en relación a la pandemia quedando constituido un instrumento de 29 reactivos, el cual posee un cuadro de opciones de respuesta de: "Nada, Casi Nada, Raramente, Algunas Veces, Bastante, Con Frecuencia y Siempre" el encuestado selecciona una de las siete alternativas según sea la situación, además se incluyen preguntas demográficas. [4]

Desarrollo

Para la obtención de datos se procedió a dar una breve explicación a los docentes participantes acerca del objetivo de la investigación, se les proporcionó el instrumento por medio de un formulario en Google Forms y se envió vía WhatsApp. Llenados los formularios se recabaron para su revisión, codificación, tabulación y análisis e interpretación correspondientes. El periodo de aplicación de los instrumentos fue del 14 de octubre de 2021 al 29 de noviembre de 2021 y se utilizó el programa IBM SPSS Statistic versión 26, para realizar el análisis factorial.

Resultados y discusión

Análisis de la versión adaptada

Análisis de discriminación de reactivos. El objetivo de este análisis es identificar los reactivos que se pueden discriminar entre grupos extremos [5] como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis de discriminación de reactivos de la adaptación del Cuestionario de Tecnoestrés

Reactivo	Puntaje alto			Puntaje bajo			T=t student
	N	Media	Desviación estándar	n	Media	Desviación estándar	
1	38	4.00	2.828	38	3.00	4.243	2.6531
2	38	4.00	2.828	38	0.00	0.000	8.7178
3	38	3.50	3.536	38	3.00	4.243	1.3455
4	38	4.00	2.828	38	0.00	0.000	8.7178
5	38	5.50	0.707	38	0.00	0.000	47.9479
6	38	4.50	2.121	38	1.00	1.414	10.2234
7	38	4.00	2.828	38	0.00	0.000	8.7178
8	38	4.00	2.828	38	0.00	0.000	8.7178
9	38	3.50	3.536	38	0.00	0.000	6.1025
10	38	3.50	3.536	38	0.00	0.000	6.1025
11	38	4.00	2.828	38	0.00	0.000	8.7178
12	38	4.00	2.828	38	0.00	0.000	8.7178
13	38	5.50	0.707	38	0.00	0.000	47.9479
14	38	4.50	2.121	38	0.00	0.000	13.0767
15	38	4.50	2.121	38	0.00	0.000	13.0767
16	38	4.50	2.121	38	0.00	0.000	13.0767
17	38	4.50	2.121	38	0.00	0.000	13.0767
18	38	4.50	2.121	38	0.00	0.000	13.0767
19	38	4.50	2.121	38	3.00	4.243	4.8326
20	38	4.50	2.121	38	0.50	0.707	11.6369
21	38	4.50	2.121	38	0.00	0.000	13.0767
22	38	4.50	2.121	38	0.00	0.000	13.0767
23	38	4.50	2.121	38	0.00	0.000	13.0767
24	38	4.50	2.121	38	3.00	4.243	4.8326
25	38	4.50	2.121	38	0.00	0.000	13.0767
26	38	4.50	2.121	38	0.00	0.000	13.0767
27	38	4.50	2.121	38	0.00	0.000	13.0767
28	38	4.00	2.828	38	0.00	0.000	8.7178
29	38	4.00	2.828	38	0.50	0.707	7.6412

Para la realización de los cálculos se dividió la distribución de los puntajes totales en cuartiles comparando los valores extremos de los reactivos, mediante la prueba t ($\alpha = 0.05$). Los resultados al aplicar la prueba t se indican en la Tabla 1 Se puede observar que 28 reactivos de 29 mostraron ser discriminantes ($t = \pm 1.6657$); el reactivo 3 que está en rojo ($t = +1.3455$) fue eliminado ya que no aportaba información relevante a los resultados.

Análisis de confiabilidad. Se evaluó la confiabilidad del instrumento a través del análisis de consistencia interna, empleando el IBM SPSS Statistic versión 26, llevando a cabo el cálculo de coeficiente alfa de Cronbach (α), obteniendo un resultado de coeficiente de alfa de Cronbach global de 0.955, lo cual es considerado como aceptable.

Pertinencia del análisis factorial. Se aplicó la prueba de KMO donde se obtuvo un valor de 0.933 implicando una adecuación aceptable de los datos a un modelo de análisis factorial, por otro lado la prueba, de esfericidad de Bartlett permite constatar si más de dos muestras presentan igualdad de varianzas además sirve para contrastar la normalidad de datos, la contrastación es de vital importancia para la igualdad de varianzas de los datos para poderlos llevar a cabo, por lo que el valor de p-valor del contraste muestra que no es significativa la hipótesis nula de los valores iniciales, por lo que necesariamente se aplica el análisis factorial. [6]

Determinación de factores. Se calculó la varianza total en la Tabla 2 Que describe la varianza total explicada de los componentes principal; los primeros 5 componentes resumen el 73.462 % de la variabilidad total.

Tabla 2. Varianza total. (Método de extracción: Análisis de componentes principales; método de rotación: Varimax).

Componente	Varianza total								
	Evaluaciones iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción			Sumas de cargas al cuadrado de la rotación		
	Total	% de Varianza	% Acumulado	Total	% de Varianza	% Acumulado	Total	% de Varianza	% Acumulado
1	13.971	49.898	49.898	13.971	49.898	49.898	7.306	26.092	26.092
2	2.529	9.032	58.930	2.529	9.032	58.930	4.921	17.574	43.666
3	1.652	5.899	64.829	1.652	5.899	64.829	4.425	15.804	59.469
4	1.281	4.573	69.403	1.281	4.573	69.403	2.257	8.062	67.531
5	1.137	4.059	73.462	1.137	4.059	73.462	1.661	5.931	73.462

Continuación de la Tabla 2.

6	.746	2.664	76.126						
7	.679	2.425	78.551						
8	.593	2.119	80.670						
9	.568	2.027	82.697						
10	.556	1.986	84.683						
11	.484	1.728	86.411						
12	.455	1.625	88.036						
13	.407	1.454	89.490						
14	.369	1.317	90.807						
15	.322	1.150	91.957						
16	.310	1.106	93.062						
17	.270	.963	94.025						
18	.261	.932	94.958						
19	.226	.807	95.764						
20	.215	.770	96.534						
21	.166	.594	97.128						
22	.163	.583	97.711						
23	.146	.521	98.233						
24	.129	.460	98.693						
25	.108	.387	99.080						
26	.099	.352	99.432						
27	.082	.295	99.727						
28	.077	.273	100.000						

Finalmente, en la Tabla 3 Se muestra la matriz de componentes rotados, donde se indica la correlación existente entre cada una de las variables y su correspondiente factor (componente), lo que se denomina saturaciones. Siguiendo el criterio de asignar un ítem al factor en el que se presentara una carga factorial mayor de 0.40 (valor absoluto).

Tabla 3. Matriz de Componentes Principales (Método de extracción: análisis de componentes principales; método de rotación: Varimax).

Elemento	Componente				
	1	2	3	4	5
16. Estoy inseguro de acabar bien mis tareas cuando utilizo las TIC	.855				
15. La gente dice que soy ineficaz utilizando tecnologías	.838				
18. Carezco de los recursos tecnológicos para realizar mi trabajo	.788				
14. Es difícil trabajar con tecnologías de la información y de la comunicación	.780				
13. En mi opinión, soy ineficaz utilizando tecnologías	.773				
11. Dudo a la hora de utilizar tecnologías por miedo a cometer errores	.741				
12. El trabajar con ellas me hace sentir incómodo, irritable e impaciente	.673				
10. Me asusta pensar que puedo destruir una gran cantidad de información por el uso inadecuado de las mismas	.660				
19. Utilizo las TIC para realizar mis actividades docentes fuera de mi horario de trabajo	.616				
21. Tengo condiciones inadecuadas (luz, temperatura, ruido) para realizar mi labor docente.		.743			
27. Me siento deshumanizado por contactar siempre con el intermediario de la tecnología		.726			
29. Cuento con un día a la semana para desconectarme de las TIC (Pasear, andar en bicicleta, leer un libro, etc.)		.720			
28. El uso de las TIC afecta negativamente mis relaciones familiares		.709			
26. Siento la necesidad de tener siestas digitales (desconectarse de los dispositivos electrónicos) durante la jornada laboral		.664			
22. Me causan ansiedad las video llamadas.		.653			
23. Carezco de las habilidades necesarias para impartir las clases.		.641			
24. Utilizo las TIC fuera de mi horario de trabajo		.605			
6. Cuando termino de trabajar con TIC, me siento agotado/a			.818		
7.. Estoy tan cansado/a cuando acabo trabajar con ellas que no puedo hacer nada más			.791		
8. Es difícil concentrarme después de trabajar con tecnologías			.708		
5. Me resulta difícil relajarme después de un día de trabajo utilizándolas			.703		
9. Me siento tenso/a y ansioso/a al trabajar con tecnologías			.615		
17. Me siento agobiado (a) por la cantidad de mensajes de texto, voz correos, redes, etc.			.491		
3. Dudo del impacto de mis clases con estas tecnologías			.472		
1. Con el paso del tiempo, las tecnologías me interesan cada vez menos				.817	
2. Cada vez me siento menos implicado/a en el uso de las TIC				.740	
20. Siento malestares físicos (cuello, espalda, brazos, etc.) durante y al final del uso de las TIC					.864
25. Pierdo la concentración cuando paso de una actividad a otra por utilizar las TIC					.767

Versión final del instrumento adaptado

Análisis de confiabilidad. Se determinó nuevamente la confiabilidad con la estimación de Alpha de Cronbach, considerado como aceptable como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Confiabilidad del instrumento con 24 reactivos.

Estadísticas de confiabilidad	
Alfa de Cronbach	Número de Instrumentos
.963	24

Pertinencia del análisis factorial. Posteriormente se aplicó nuevamente la prueba de esfericidad de Bartlett y la KMO, obteniéndose valores satisfactorios acerca de la pertinencia de la aplicación del análisis factorial como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados obtenidos de la prueba de KMO y en la prueba de esfericidad de Bartlett con 24 reactivos.

Prueba de KMO y Bartlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo.		.939
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	3402.492
	gl.	276
	Sig.	.000

Determinación de factores. En la Tabla 6 Se describe nuevamente la varianza total explicada de los componentes principales del instrumento definitivo que está constituido por 24 reactivos agrupados en 3 factores, en los cuales se resume el 71.026 de la variabilidad

Tabla 6. Varianza total. (Método de extracción: análisis de componentes principales; método de rotación: Varimax).

Componente	Varianza total								
	Evaluaciones iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción			Sumas de cargas al cuadrado de la rotación		
	Total	% de Varianza	% Acumulado	Total	% de Varianza	% Acumulado	Total	% de Varianza	% Acumulado
1	13.383	55.763	55.763	13.383	55.763	55.763	7.328	30.532	30.532
2	2.093	8.720	64.483	2.093	8.720	64.483	4.945	20.602	51.134
3	1.570	6.543	71.026	1.570	6.543	71.026	4.774	19.892	71.026
4	.837	3.486	74.512						
5	.724	3.017	77.529						
6	.623	2.597	80.126						
7	.566	2.357	82.482						
8	.550	2.290	84.773						
9	.482	2.009	86.782						
10	.391	1.628	88.409						
11	.379	1.580	89.989						
12	.326	1.359	91.348						
13	.323	1.344	92.692						
14	.278	1.159	93.851						
15	.233	.970	94.821						
16	.223	.930	95.751						
17	.180	.749	96.500						
18	.169	.705	97.205						
19	.153	.637	97.842						
20	.131	.547	98.389						
21	.111	.464	98.853						

Continuación de la Tabla 6.

22	.109	.453	99.305						
23	.087	.363	99.668						
24	.080	.332	100.000						
Extraction Method: Principal Component Analysis.									

La Tabla 7 Presenta la matriz de componentes principales (método de extracción: análisis de componentes principales de rotación varimax); se muestra la agrupación de los 24 reactivos considerados en 3 componentes (factores).

Tabla 7. Matriz de Componentes Principales (método de rotación: Varimax).

Elemento	Componente		
	1	2	3
15. La gente dice que soy ineficaz utilizando tecnologías	.840		
16. Estoy inseguro de acabar bien mis tareas cuando utilizo las TIC	.829		
13. En mi opinión, soy ineficaz utilizando tecnologías	.814		
14. Es difícil trabajar con tecnologías de la información y de la comunicación	.789		
18. Carezco de los recursos tecnológicos para realizar mi trabajo	.777		
11. Dudo a la hora de utilizar tecnologías por miedo a cometer errores	.757		
12. El trabajar con ellas me hace sentir incómodo, irritable e impaciente	.695		
10. Me asusta pensar que puedo destruir una gran cantidad de información por el uso inadecuado de las mismas	.671		
24. Utilizo las TIC fuera de mi horario de trabajo	.567		
19. Utilizo las TIC para realizar mis actividades docentes fuera de mi horario de trabajo	.509		
21. Tengo condiciones inadecuadas (luz, temperatura, ruido) para realizar mi labor docente.		.780	
27. Me siento deshumanizado por contactar siempre con el intermediario de la tecnología		.737	
22. Me causan ansiedad las video llamadas.		.718	
28. El uso de las TIC afecta negativamente mis relaciones familiares		.696	
29. Cuento con un día a la semana para desconectarme de las TIC (Pasear, andar en bicicleta, leer un libro, etc.)		.693	
26. Siento la necesidad de tener siestas digitales (desconectarse de los dispositivos electrónicos) durante la jornada laboral		.657	
23. Carezco de las habilidades necesarias para impartir las clases.		.635	
17. Me siento agobiado (a) por la cantidad de mensajes de texto, voz correos, redes, etc.		.509	
6. Cuando termino de trabajar con TIC, me siento agotado/a			.854
7. Estoy tan cansado/a cuando acabo trabajar con ellas que no puedo hacer nada más			.817
8. Es difícil concentrarme después de trabajar con tecnologías			.726
5. Me resulta difícil relajarme después de un día de trabajo utilizándolas			.724
9. Me siento tenso/a y ansioso/a al trabajar con tecnologías			.660
4. Dudo del impacto de mis clases con estas tecnologías			.531

Interpretación de factores

Considerando los reactivos que constituyen cada factor se proponen las siguientes definiciones:

Factor 1 Ineficacia y Ansiedad. Grado de ineficiencia y ansiedad percibido por el uso de las TIC: sentimiento de inseguridad al trabajar y al realizar las actividades además de que se carecen de recursos para llevarlas a cabo, lo cual genera incomodidad, irritabilidad y miedo de perder o destruir información valiosa, así como ansiedad ya que se tienen que trabajar con ellas fuera del horario de trabajo establecido.

Factor 2 Agotamiento físico y social. Grado de agotamiento físico y afectación familiar, ocasionado por el uso de las Tics por no contar con condiciones adecuadas como: luz, temperatura, aislamiento de ruido, etcétera, sentimiento deshumanizado a falta de interacción y comunicación con familiares, amigos y personas del entorno laboral, así como la falta de tiempo para desconectarse de las TIC para realizar actividades laborales, físicas, sociales y recreativas que pueden causar agobio por la cantidad de mensajes de texto, de voz, correos, redes, etcétera de las diferentes plataformas que se utilizan durante la jornada laboral y por lo tanto sienten que no se cuenta con las habilidades necesarias para impartir clases en línea.

Factor 3 Fatiga. Grado de agotamiento emocional y cognitivo ocasionado por el uso de las TIC que genera pérdida de concentración y problemas en relajarse en otras actividades después de hacer uso de ellas ya que se piensa que no se está teniendo el impacto necesario en la realización de las clases con el uso de estas tecnologías.

Trabajo a futuro

Se sugiere continuar la validación y confiabilidad del instrumento adaptado, considerando más Instituciones Educativas a nivel Superior de diferentes carreras, tomando factores como la postpandemia y el trabajo híbrido que se está llevando actualmente para el uso de las TIC a las consideradas en el presente estudio y, de ser posible, muestras probabilísticas.

Conclusiones

El objetivo de esta investigación fue determinar la validez y confiabilidad de una adaptación del instrumento de Salanova para medir el tecnoestrés. Como resultados se obtuvo un instrumento con evidencia de validez de constructo y confiabilidad superior a la del instrumento original.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo proporcionado por los docentes de los diferentes Tecnológicos de Estudios Superiores y de las diferentes carreras, para la obtención de información para llevar a cabo el estudio de la investigación.

Referencias

- [1] OMS, «"who.int/es",» [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019>. [Último acceso: 31 Diciembre 2019].
- [2] E. Quiroz, B. Ruíz, G. Caballero y J. Vesga, «Guía para la Gestión del Tecnoestrés,» 06 2020. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/343140599_Guia_para_la_gestion_del_tecnoestres. [Último acceso: 22 07 2020].
- [3] J. Maset, «CINFASALUD,» 25 02 2019. [En línea]. Available: <https://cinfasalud.cinfa.com/p/tecnoestres-laboral/>.

- [4] FULL AUDIT, *Guía de tecnoestrés. Qué es, cómo nos condiciona y cómo gestionarlo*, 1-105, Ed., Foment del Treball Nacional, 2019.
- [5] L. Hurtado, «"Relación entre los índices de dificultad y discriminación",» *RIDU*, vol. 12, nº 1, pp. 273-300, 06 2018.
- [6] R. Ledesma, J. Perez y J. Tosi, «Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación Uso del Análisis Factorial Exploratorio en RIDEP. Recomendaciones para Autores y Revisores,» *RIDEP*, pp. 174-180, 2019.

Identificación de estrategias en el aprendizaje de fundamentos de programación

R. García Belmont¹, V. Méndez Lemus², M. C. Puente Pérez³, E. Calderón García, M. Rodríguez López⁵,
¹ITTILA - reyna.gb@tlalnepantla.tecnm.mx, ²ITTILA - ofelia.ml@tlalnepantla.tecnm.mx, ³ITTILA -
maria.pp@tlalnepantla.tecnm.mx, ⁴ITTILA - erika.cg@tlalnepantla.tecnm.mx, ⁵ITTILA -
marcela.rl@tlalnepantla.tecnm.mx

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

La principal finalidad que buscan los jóvenes al realizar estudios superiores es realizar una educación formal que les permita conseguir un buen empleo relacionado con su preparación. Sin embargo, existen diferentes factores que impiden el logro de este objetivo, entre ellos la reprobación. Fundamentos de Programación es una de las asignaturas que se identifica por su alto índice de reprobación y es considerada como una variable asociada a la deserción escolar en la carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones del Instituto Tecnológico de Tlalnepantla. El presente trabajo aborda los factores involucrados en el proceso de enseñanza aprendizaje y la estandarización de criterios para comparar el logro educativo, así como la importancia del trabajo colegiado, con el fin de identificar estrategias que contribuyan a la calidad educativa y mejora continua del programa de ITIC para continuar siendo un programa educativo reconocido por CACEI.

Palabras clave: CACEI, Deserción escolar, Estrategias, Índice de reprobación.

Abstract

The main purpose that young people seek in a higher education is to carry out a formal education that allows them to get a good job in relation to what they prepared. However, there are different factors that prevent the achievement of this goal, including failure. Fundamentals of Programming is one of the subjects that is identified by its high failure rate and considered as a variable associated with school dropout in the Engineering degree in Information and Communication Technologies at the Technological Institute of Tlalnepantla. This paper addresses the factors involved in the teaching-learning process and the standardization of criteria to compare educational achievement, as well as the importance of collegiate work, to identify strategies that contribute to educational quality and continuous improvement of the ITIC program to continue being an educational program recognized by CACEI.

Key words: CACEI, School dropout, Strategies, Failure rate.

Introducción

La educación superior es el nivel de preparación del ser humano para la vida en sociedad, lo que requiere de aprendizajes, conocimientos, habilidades, normas y valores diversos. En el proceso de preparación intervienen múltiples actores, lo cual implica que no deben ser considerados en forma aislada, sino en relación con los ciclos educativos que le preceden [1]. Tal es el caso del Instituto Tecnológico de Tlalnepantla (I.T.Tla) que tiene como misión "Formar profesionales de nivel superior y posgrado, competitivos, generadores de conocimiento y capaces de desarrollar nuevas tecnologías, aptos para responder con calidad a las necesidades del entorno ante los retos de la globalización" [2], en donde el giro trascendental es llevar al estudiante de las diferentes carreras, en especial Ingeniería y Tecnologías de Información y Comunicaciones (ITIC) a ser el centro del aprendizaje, cuyo desarrollo sea integrado por competencias y no sólo por asignaturas, lo que lleva a definir estrategias para consolidar la calidad educativa y al mismo tiempo mantener la acreditación del programa educativo de ITIC a través del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, A. C. (CACEI). La acreditación se sustenta en estándares internacionales como los que rigen el Washington Accord (WA) [3], el cual forma parte de la International Engineering Alliance (IEA), que permite a una institución fortalecer su reconocimiento internacional para continuar su liderazgo en la educación superior, sin embargo, esto no se limita a solo cumplir con requisitos, sino establece el compromiso de incorporar mejoras en sus programas educativos en los servicios que se ofrecen.

Con respecto a los índices de reprobación y deserción estudiantil son una preocupación permanente en cualquier institución educativa, siendo el I.T.Tla no ajeno a esta situación. Los motivos son un abanico de factores que contribuyen al problema y que van desde factores personales hasta características institucionales [4]. La acreditación de una asignatura es la forma en la que se confirma que el estudiante alcanza las competencias que están establecidas y que son necesarias para el desarrollo del perfil de egreso del plan de estudios, El estudiante podrá cursar hasta en tres ocasiones una asignatura para poder acreditarla, de no ser así, es dado de baja definitiva del plan de estudios, de acuerdo al “Manual de Lineamientos Académico-Administrativos del Tecnológico Nacional de México”, sin embargo la implicación de reprobación va más allá de recurrir a una asignatura ya que puede generar una baja en la autoestima, lo que se asocia o bien puede ser causa de una deserción escolar cercana [5]. Actualmente se desconoce hasta qué punto el índice de reprobación afecta la deserción en la carrera, por lo que el presente trabajo va orientado a la identificación de factores y circunstancias para idear estrategias que permitan mitigar el problema de reprobación, con la finalidad de ofrecer a los estudiantes la oportunidad de continuar con su formación, para su posterior inserción en el ámbito laboral.

Metodología

De acuerdo con la definición de Fidiás G. Arias la metodología de un proyecto no es más que el “como” se realiza un estudio para responder al problema planteado [6], para efectos de esta investigación se aplica una metodología propia considerando las siguientes etapas:

- Análisis del problema donde se define la naturaleza, el alcance, las causas y consecuencias del tema a tratar para identificar la situación actual.
- Elaboración de una metodología de intervención para definir la forma en cómo se obtendrán los datos, el planteamiento de objetivos y la identificación de estrategias para una futura implementación.
- Teorización de estrategias etapa donde se determinan las acciones que se proyectaran para ponerse en marcha de forma ordenada con el fin de alcanzar un determinado propósito.

Las etapas mencionadas son idóneas para poder estandarizar, estructurar y organizar la manera de trabajar y así conseguir los logros esperados con eficiencia.

Análisis del problema

El programa educativo de ITIC tiene como misión “Formar profesionistas capaces de integrar y administrar Tecnologías de la Información y Comunicaciones, que contribuyan a la productividad y el logro de los objetivos estratégicos de las organizaciones; caracterizándose por ser líderes, críticos, competentes, éticos y con visión empresarial, comprometidos con el desarrollo sustentable” [2]. Para lograr lo mencionado, es necesario realizar una prospectiva estratégica a través de la metodología de Gándara [7] para el entendimiento del contexto del modelo curricular, la construcción de escenarios posibles en conjunto con la adopción de estrategias adecuadas con base en los factores de cambio, además de visualizar tendencias educativas para el fortalecimiento del perfil de los estudiantes de ITIC (Figura 1).

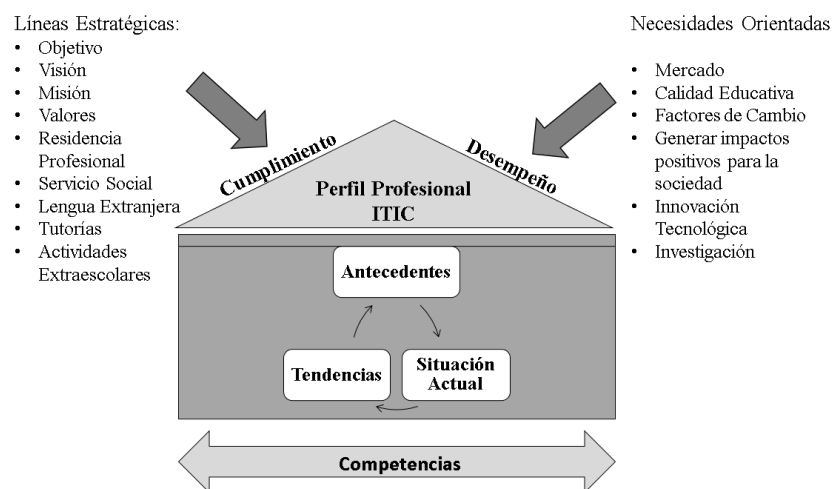


Figura 1. Elementos que considerar para el diseño de un modelo curricular. Tomado de [8].

Para cumplir con estos propósitos se contempla una estructura curricular del programa educativo de ITIC centrado en asignaturas donde los créditos se distribuyen como se indica en la tabla 1.

Tabla 1. Malla reticular de la carrera de ITIC (ITIC-2010-225), con especialidad en Ingeniería de Software. Adaptado de [9].

Asignaturas de	No. de créditos	No. de asignaturas
Estructura genérica	210	46
Residencia profesional	10	1
Servicio social	10	1
Especialidad	25	5
Otros	5	Tutorías Actividad extraescolar Actividad complementaria
Total	260	53

La problemática radica en los índices de reprobación, en la tabla 2 se muestran las 10 asignaturas con mayor índice de reprobación de la carrera de ITIC, esto de acuerdo con la información proporcionada por la jefatura de proyectos de docencia del departamento de Sistemas y Computación del I.T.Tla, los periodos comprendidos están a partir de enero de 2020 hasta junio de 2022.

Como se puede observar, en la columna de “Total no acreditados” se unen los valores de los no acreditados con los desertores para determinar el total de los alumnos no acreditados. Es importante destacar que dentro de las asignaturas mostradas en la Tabla 2, las asignaturas de Fundamentos de programación, Matemáticas discretas I e Introducción a las TIC, están ubicadas en primer semestre y son las de mayor índice de reprobación de la carrera, lo que implica un gran problema en el avance reticular de los estudiantes. Sin embargo, el presente trabajo se centra específicamente en buscar las estrategias que permitan disminuir los índices de reprobación y por ende los de deserción de la asignatura de Fundamentos de programación, la cual se destaca por ser la de mayor índice de reprobación y la base para una serie de asignaturas del área de programación, que a su vez también tienen altos índices de reprobación y deserción.

Tabla 2. Asignaturas de ITIC con mayor índice de reprobación (periodos comprendidos: del 2020-1 al 2022-1) Elaboración propia.

Asignatura	Alumnos evaluados	No acreditados	%	Deserción	%	Total no acreditados	%
Fundamentos de programación	682	153	22%	218	32%	371	54%
Programación orientada a objetos	377	59	16%	113	30%	172	46%
Matemáticas discretas I	645	186	29%	76	12%	262	41%
Programación WEB	274	30	11%	55	20%	85	31%
Fundamentos de redes	317	34	11%	64	20%	98	31%
Programación II	318	46	15%	52	16%	98	25%
Matemáticas discretas II	390	57	15%	42	11%	99	25%
Introducción a las TIC	553	100	18%	38	7%	138	21%
Redes de computadoras	275	26	9%	31	11%	57	20%
Taller de investigación II	245	19	8%	30	12%	49	20%

En la figura 2 se muestra el comportamiento del índice de reprobación de los últimos siete semestres de la asignatura de Fundamentos de programación, como se observa se ha mantenido alto a lo largo de estos periodos y pese a que los factores son diversos, la situación se convierte en un detonante en la frustración de los estudios de los jóvenes desde el inicio de la carrera y puede ser considerado como una variable asociada a la deserción escolar en la carrera de ITIC del I.T.Tla, pero sobre todo un problema de calidad educativa.



Figura 2. Índices de reprobación de la asignatura de fundamentos de programación. Elaboración propia.

Anteriormente un índice de reprobación elevado se consideraba una situación normal, sobre todo en los inicios dentro de una institución, sin embargo, en la actualidad los organismos acreditadores de programas educativos como CACEI recomiendan disminuir estos índices, ya que la reprobación es un tema que se tiene que atender como un problema que conlleva a la deserción escolar, aunque éste fenómeno puede darse por factores como:

- Falta de vocación
- Cambio de programa educativo o institución
- Cambio de residencia de los estudiantes
- Situación económica
- Problemas familiares o de salud

El COVID y los problemas que ha derivado en muchos aspectos ha impactado de manera directa en la situación escolar de los estudiantes; sin embargo, la reprobación es un tema controversial ya que no existe una causa específica a la que se pueda atribuir directamente el problema, por lo que es necesario identificar aquellos factores donde se puedan establecer estrategias que apoyen a disminuir el fenómeno y lograr la productividad en la educación.

El programa educativo de ITIC del I.T.Tla fue evaluado, obteniendo con ello la acreditación en 2019 por CACEI, logrando con ello el reconocimiento público que una organización acreditadora otorga, en el sentido de que éste cumple con determinados criterios y parámetros de calidad educativa. La acreditación obtenida tiene una vigencia de tres años, al término de ese periodo el programa de ITIC será reevaluado, con el propósito de verificar una auténtica y pertinente mejora continua del programa educativo, pero sobre todo que cumpla adecuadamente con su proceso formativo [10].

Metodología de intervención

La metodología de intervención es la forma en cómo se obtienen datos, se plantean objetivos y estrategias para que en una futura implementación permitan la mejora de la calidad educativa. Considerando como punto de partida, que el docente es un protagonista de lo que ocurre en el aula, se debe comprender la complejidad de las actividades desarrolladas para el análisis reflexivo de la situación educativa generando modelos de intervención educativa [11] para apoyar el aprendizaje de los estudiantes en la asignatura de fundamentos de programación. El grupo colegiado de programación del departamento de Sistemas y Computación se dio a la tarea de analizar y retroalimentar a través de las experiencias de los docentes involucrados la problemática, proponiendo estrategias situacionales orientadas a coadyuvar la disminución de los índices de reprobación y deserción de acuerdo con los diferentes contextos [12], trabajando con los elementos de la figura 3 y considerando al estudiante

como el eje principal de la planeación para el diseño estandarizado de instrumentos que permitan la recolección de datos que fundamenten la mejora continua.

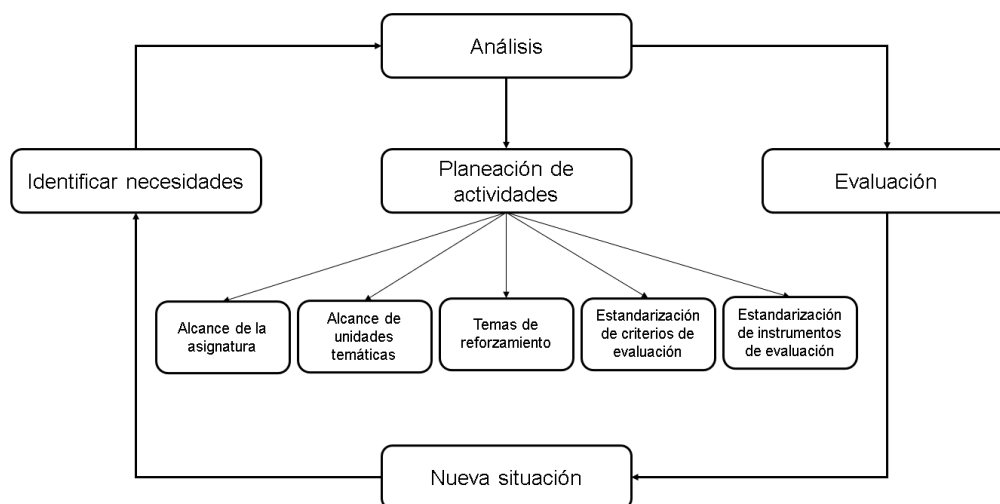


Figura 3. Metodología de intervención.
Adaptado de [12].

El diseño estandarizado de instrumentos y criterios homogéneos de trabajo, permitirán identificar las características que deben cumplir las estrategias y la planeación de las actividades académicas, que apoyen al estudiante a alcanzar las competencias necesarias que le permitan avanzar en la línea de asignaturas posteriores con un mejor rendimiento, además de lograr la recopilación de información que facilite la evaluación de resultados.

Teorización de estrategias

Las estrategias se deducen como una serie de pasos por aplicar, sin embargo, estos pasos deben considerar no sólo los temas tratados para los estudiantes, sino debe existir una correlación entre los temas y la forma de afrontarlos. Dado lo anterior siempre es necesario que la metodología de intervención contemple la evaluación de efectos y resultados para definir la nueva situación a lo que nos enfrentaremos, sobre todo para evaluar las estrategias implementadas y reflexionar sobre su revisión, modificación o eliminación.

Para diseñar una estrategia se requiere orientar acciones de tal forma que permitan obtener resultados satisfactorios, considerando que la prioridad es disminuir el índice de reprobación y deserción, de manera colegiada se determinaron las siguientes estrategias:

- Mejorar los canales de comunicación entre los (las) profesores(as) del grupo colegiado de programación, a través de reuniones (inicial, intermedia y final) a partir del periodo escolar agosto-diciembre 2022.
- Identificar si el estudiante cuenta con las herramientas necesarias para trabajar las actividades de la asignatura, por lo que se sugiere el diseño de una encuesta que se aplique al inicio del semestre. El índice de reprobación de la asignatura de Fundamentos de programación siempre ha sido alto, éste se agravó con el cierre de la institución a consecuencia de la pandemia de COVID-19, ya que no todos los estudiantes tuvieron las oportunidades, herramientas o accesos necesarios para seguir aprendiendo durante el tiempo afectado, sin embargo, también se debe de identificar la situación actual.
- Mantener comunicación con otros programas de apoyo a los estudiantes, para ello es necesario que el docente de fundamentos de programación conozca al tutor del grupo para establecer comunicación y en caso de identificar problemas se pueda canalizar al área pertinente donde se definan mecanismos oportunos que coadyuven a mitigar los índices de reprobación y deserción.
- Diseñar y aplicar un examen diagnóstico al inicio del periodo escolar con el fin de analizar las habilidades y conocimientos con los que cuenta el estudiante para la comprensión de la asignatura de fundamentos de programación, lo que permitirá identificar si es necesario solicitar como apoyo cursos introductorios a la carrera con la finalidad de orientar a los nuevos estudiantes sobre la elección realizada, tomando

conciencia sobre las habilidades que requiere reforzar para evitar malas experiencias, promoviendo en ellos que encuentren un plan de vida y autoconocimiento vocacional que se refleje en su satisfacción, buscando con ello el éxito profesional.

- Diseñar material de apoyo estandarizado de la asignatura, con previa identificación de necesidades, alcances y temas clave a reforzar para asignaturas posteriores a fundamentos de programación y avalado por la academia de sistemas y computación
- Estandarizar instrumentos de evaluación con la finalidad de obtener resultados: normativos y criterios que permitan una comparación confiable de los resultados de todos los grupos de fundamentos de programación. Los instrumentos estandarizados son muy útiles para determinar procesos transparentes y objetivos con la finalidad de identificar los temas a reforzar.

Sin embargo, el establecimiento de estrategias no es suficiente ya que se requiere de una constante comunicación y compromiso entre los(las) docentes involucrados(as) del grupo colegiado para que se lleven con éxito y sobre todo se puedan evaluar los resultados.

Resultados y discusión

Los instrumentos son indispensables para recoger y documentar los aspectos a verificar, obteniendo resultados que faciliten el soporte para el registro de las evidencias. Los resultados obtenidos en este trabajo se basaron en la definición de variables, identificadas en la tabla 3, para las cuales se realizaron diversos tipos de instrumentos que se pueden utilizar en los procesos de evaluación de estrategias [13]. Las variables asociadas a cada una de las estrategias consisten en una descripción de las características que es clave como factor involucrado en el índice de reprobación. Este estudio apoya a identificar aquellas variables que se deben atender de manera prioritaria con el objetivo de brindar una mejor formación de profesionales y sobre todo coadyuvar con la misión del I.T.Tla [14].

Tabla 3. Estrategias determinadas de manera colegiada. Elaboración propia

Variable	Estrategia	Instrumento / Medio
Características formativas del estudiante	Identificar los argumentos, características e intereses de los jóvenes de nuevo ingreso del porque decidieron estudiar la carrera de ITIC en el ITTla.	Diseño de encuesta inicial
Programas de apoyo	Conocer dentro de las tres primeras semanas del periodo escolar al tutor del grupo y mantener comunicación Solicitar se den a conocer a los estudiantes a través del tutor la lista de programas de apoyo a estudiantes	Coordinación Institucional de Tutorías Orientación vocacional Asesorías psicológicas Programa de asesorías Programa Pasa-Pares Becas
Habilidades y/o conocimientos previos	Aplicación de examen diagnóstico	Diseño de examen diagnóstico considerando habilidades matemáticas, lógicas y manejo de software Determinación de estadísticas para determinar la necesidad de cursos propedéuticos
Alcances de los temas de la asignatura	De manera colegiada determinar necesidades, alcances de los temas de la asignatura y planeación de tiempos para cada competencia	Diseño de material de apoyo estandarizado y avalado por el grupo colegiado Estandarización de la instrumentación didáctica de la asignatura
Criterios de Evaluación	Estandarización de criterios de evaluación	Los criterios de evaluación se sustentan en los indicadores de alcance manejados en CACEI: Resolver problemas de ingeniería y Actualizarse permanentemente
Evaluación de cada competencia	Estandarización de instrumentos de evaluación	Diseño de un banco de reactivos de evaluación de cada una de las competencias de la asignatura

El establecimiento de estrategias de trabajo expuestas han sido el resultado de una reflexión de la práctica docente que se realiza en la asignatura de fundamentos de programación de los diferentes profesores involucrados, llegando a una combinación y modificación para la adaptación de formas de trabajo, basado en la experiencia de los profesores, buscando con ello los logros fundamentales de la asignatura:

- Un proceso de enseñanza-aprendizaje estandarizado que permita la medición de resultados de las estrategias establecidas.
- Un vínculo de la asignatura con los requisitos de aprendizaje para asignaturas posteriores.
- Fomentar las características personales de los estudiantes como autonomía, participación, confianza y competitividad, para contribuir a la visión trazada del I.T.TIa en su ambiente institucional y académico a través de la práctica de sus valores: Compromiso, Responsabilidad, Honestidad, Respeto y Disciplina, a través de actividades y proyectos orientados a fortalecer actitudes, valores y comportamientos.

Sin embargo, se tiene que tomar en cuenta que aun así se corren riesgos, que dadas las necesidades de la institución y comportamiento de grupos se pueden llevar a cabo cambios de profesores de última hora lo que conlleva a que estos no estén informados sobre los acuerdos de trabajo establecidos; otro factor suele ser la realización de actividades académicas como talleres, conferencias y/o pláticas que alteren la secuencia y tiempos asignados a las actividades de enseñanza; así como el alto número de estudiantes en los grupos, lo que lleva a que los equipos de los laboratorios sean insuficientes.

La implementación de las estrategias se llevará a cabo en primera instancia en el periodo agosto – diciembre 2022, con todos los grupos de fundamentos de programación, en acuerdo con los profesores que integran el grupo colegiado de la asignatura, con el compromiso de entregar resultados parciales en tiempo y forma para intervenir de manera oportuna en caso de así requerirlo.

El éxito de las estrategias establecidas dependerá de la correcta combinación entre la estrategia de enseñanza, la tarea docente, trabajo grupal y la comunicación adecuada entre los miembros del grupo colegiado de programación.

Trabajo a futuro

En el presente trabajo se propuso una serie de estrategias a implementar para la reducción de los índices de reprobación en la asignatura de fundamentos de programación, las cuales se trabajan en conjunto con el grupo colegiado de programación, con el fin de atacar un foco rojo de la carrera de ITIC, algunas estrategias han sido diseñadas con éxito sin embargo queda pendiente la implementación para empezar la evaluación de su eficiencia, dejando como trabajo futuro lo siguiente:

- Realizar el análisis de los datos obtenidos en la encuesta diseñada, con el objetivo de identificar el interés de los jóvenes en la carrera elegida.
- A partir del examen diagnóstico la necesidad de incluir un curso propedéutico que permita la nivelación de conocimientos básicos con los que debe contar un estudiante de ITIC.
- Determinar la correlación entre la reprobación y la deserción escolar con la prueba de Pearson.
- Basado en los resultados obtenidos, evaluar las estrategias implementadas.
- Implementar la estandarización de criterios e instrumentos de evaluación con las asignaturas pertenecientes al grupo colegiado de programación.

Si bien el diseño de estrategias representa un gran reto, así como una fuerte convicción y participación de los docentes del grupo colegiado de programación para este proyecto, es también de suma importancia mejorar el proceso educativo con la finalidad de evaluar, pero sobre todo de mejorar la calidad educativa.

Conclusiones

La problemática que se presenta en este tema de investigación ha sido motivo de múltiples decisiones educativas para tratar de resolverlas. Se buscaron alternativas de solución que modifiquen gradualmente la situación actual que presentan los estudiantes de fundamentos de programación de la carrera de ITIC en el ITTLA, como se observó en la figura 2 los índices de reprobación son elevados, representando un gran riesgo de que los estudiantes no acreditados a futuro sean desertores. El desafío actual no sólo es educativo, si no humano, donde la institución juega una función estratégica en la mejora de la calidad educativa. Este estudio apoya al programa educativo de ITIC al tratar de identificar los obstáculos que afectan el avance reticular de los estudiantes y proponer estrategias derivadas de un trabajo colegiado, con fin de ponerlas en marcha y obtener resultados que permitan evaluar la pertinencia de estas.

Lo más difícil ha sido llegar a una estandarización de acuerdos, pero se ha trabajado de manera satisfactoria, sin embargo, no se deja de lado la necesidad de una capacitación adecuada que apoye la función docente e invertir en infraestructura necesaria y suficiente que permita brindar un mejor servicio en la formación de profesionistas competentes, creativos y emprendedores en el ITTLA.

Las evaluaciones estandarizadas sirven para comparar el logro educativo de los estudiantes de un grupo en relación otro, sin embargo, esta comparación ayudará a definir y evaluar estrategias de mejora de la calidad de los aprendizajes y analizar las nuevas situaciones que retroalimente la eficacia de las estrategias implementadas.

El compromiso con el aseguramiento de la calidad educativa siempre ha estado presente en el I.T.Tla., así como la responsabilidad hacia la formación académica de los estudiantes, por lo que el proyecto de implementar estrategias con la participación del grupo colegiado de programación no sólo busca disminuir el índice de reprobación y deserción, el impacto se verá reflejado en:

- Identificar casos de incompatibilidad de estudios y falta de vocación
- Incremento en la eficiencia terminal de la carrera

La reprobación y deserción de un estudiante resulta ser un asunto no tan grave o complicado como a veces es presentado. Sin embargo, el análisis de las razones que afectan esta situación sugiere que hay medidas sencillas al alcance de la institución para mejorar la atención al estudiante y ofrecer una formación como ingenieros de calidad para cumplir con la misión institucional y en condiciones de alcanzar competencias para un desempeño profesional prestigioso en la sociedad.

Agradecimientos

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México, al Instituto Tecnológico de Tlalnepantla y a la jefatura de Proyectos de Docencia por la información proporcionada, pero sobre todo a los compañeros del grupo colegiado de programación por su valiosa participación en la realización de este proyecto, cuya finalidad es coadyuvar a la disminución de los índices de reprobación y deserción de la asignatura de fundamentos de programación, como punto de partida para nuevos trabajos que contribuyan a la mejora continua del programa de ITIC, pero sobre todo, fomentar el interés por la carrera que los lleve a tener un buen desempeño como profesionistas y lograr el éxito.

Referencias

- [1] ANUIES, «La Educación Superior en México,» [En línea]. Available: <http://publicaciones.anuiem.mx/acervo/revsup/res029/txt1c.htm>. [Último acceso: 01 Junio 2022].
- [2] «Instituto Tecnológico de Tlalnepantla,» 05 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.tlalnepantla.tecnm.mx/ideologia/>. [Último acceso: 01 Julio 2022].
- [3] Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, A. C., «Innovar para trascender,» Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, A. C., 2018. [En línea]. Available: <http://cacei.org.mx/nvfs/nvfs01/nvfs0101.php>. [Último acceso: 6 Diciembre 2021].

- [4] W. de Vries, P. León Arenas, J. F. Romero Muñoz y I. Hernández Saldaña, «¿Desertores o Decepcionados? Distintas Causas para Abandonar los Estudios Universitarios,» Revista de la Educación Superior, vol. 40, nº 160, pp. 29-50, Octubre-Diciembre 2011.
- [5] Á. E. Torres Zapata, J. Rivera Domínguez, P. Flores López, M. d. P. García Reyes y D. A. Castillo Trejo, «Reprobación, Síntoma de Deserción Escolar en Licenciatura en Nutrición de la Universidad Autónoma del Carmen,» RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, vol. 10, nº 20, 14 Enero 2020.
- [6] F. G. Arias, El Proyecto de Investigación (Introducción a la metodología científica), Sexta ed., Caracas, República Bolivariana de Venezuela: Episteme, C.A., 2016.
- [7] G. Baena Paz, Planeación Prospectiva Estratégica (Teorías Metodologías y Buenas Prácticas en América Latina), Primera Edición ed., M. F. Velázquez, Ed., Distrito Federal, Coyoacan: Metadata, 2015, p. 349.
- [8] E. C. Calderon García, R. García Belmont, J. I. Lima Velasco, L. Cabrera Hernández y V. Calderón García, «Análisis Curricular de la Carrera de ITIC en el ITTLA,» Revista Aristas. Investigación Básica y Aplicada, vol. 7, nº 14, pp. 192-197, Septiembre 2019.
- [9] Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, «ITTLA,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.tlalnepantla.tecnm.mx/archivo/carreras/ITI/reticula/RET%C3%8DCULA%203%20%20ITICS%202019%20ING%20SWN.pdf>. [Último acceso: 02 06 2022].
- [10] CIEES Mejor Educación Superior, «CIEES Mejor Educación Superior,» CIEES, 2022. [En línea]. Available: <https://ciees.edu.mx/?seccion=acreditacion&area=programas>. [Último acceso: 1 Julio 2022].
- [11] V. Corona, S. Reyes, S. Martínez y C. Rivas, «Estrategias para la Disminución de los Índices de Reprobación en el Instituto Tecnológico de Pachuca,» Revista de Sistemas y Gestión Educativa, vol. 3, nº 9, pp. 62-69, 01 Diciembre 2016.
- [12] J. Poveda, «eldiariodepo.com,» 19 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://eldiariodepo.com/modelos-de-intervencion-socioeducativa/>. [Último acceso: 16 Junio 2022].
- [13] M. Reyes, «Organización Internacional del Trabajo,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.oitcinterfor.org/node/7576>. [Último acceso: 18 Noviembre 2021].
- [14] Tecnológico Nacional de México, «Manual de Lineamientos Académico-Administrativos del Tecnológico Nacional de México. Planes de estudio para la formación y desarrollo de competencias profesionales», Octubre 22. [En línea]. Available: http://www.itq.edu.mx/lineamientos/Manual_de_Lineamientos_TecNM.pdf

Análisis del retorno a clases presenciales en el TecNM Campus Chilpancingo

E. Oropeza Bruno^{1*}, G. Muñoz Atilano¹, M. de L. Martínez Zamudio², M. O. Espinobarros Salinas³, V. Castro Chino¹

¹Departamento de Ciencias Básicas, TecNM/Campus Chilpancingo, Av. José Francisco Ruiz Massieu no. 5, Colonia Villa Moderna, C.P. 39090 Chilpancingo de los Bravo, Guerrero. México

²Departamento de Sistemas y Computación, TecNM/Campus Chilpancingo, Av. José Francisco Ruiz Massieu no. 5, Colonia Villa Moderna, C.P. 39090 Chilpancingo de los Bravo, Guerrero. México

³Departamento Económico-Administrativas, TecNM/Campus Chilpancingo, Av. José Francisco Ruiz Massieu no. 5, Colonia Villa Moderna, C.P. 39090 Chilpancingo de los Bravo, Guerrero. México

*erika.ob@chilpancingo.tecnm.mx

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

La educación ha tenido cambios drásticos desde el inicio de la pandemia por la COVID-19 además de las complicaciones mismas del proceso de enseñanza-aprendizaje en situaciones “normales” hasta antes de la pandemia, se han aunado otras a las generadas por la misma, como son: el aislamiento, el estrés, el manejo de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), así como condiciones deficientes de comunicación entre los actores que participan en el proceso, promoviendo que las instituciones educativas buscaran el retorno gradual de los estudiantes y docentes a las aulas con infraestructura acorde al contexto.

La intención de esta investigación es realizar un análisis desde el punto de vista de los estudiantes de Ingeniería en Sistemas computacionales del Tecnológico Nacional de México Campus Chilpancingo sobre el retorno gradual a las clases presenciales durante el semestre febrero-junio 2022, y cómo evalúan las medidas implementadas para la atención a la comunidad académica.

Palabras clave: COVID-19, estudiantes, clases presenciales.

Abstract

Education has had drastic changes since the start of the COVID-19 pandemic, in addition to the complications of the teaching-learning process in "normal" situations until before the pandemic, others have been added to those generated by it, such as: isolation, stress, management of Information and Communication Technologies (ICT), as well as poor communication conditions between the actors involved in the process, promoting educational institutions to seek the gradual return of students and teachers to the classrooms, with infrastructure according to the context.

The intention of this research is to carry out an analysis from the point of view of the Computer Systems Engineering students of the Tecnológico Nacional de México Campus Chilpancingo on the gradual return to face-to-face classes during the February-June 2022 semester, and how they evaluate the measures implemented for serving the academic community.

Key words: COVID 19, students, face to face classes.

Introducción

La pandemia ocasionada por la COVID-19 visibilizó las deficiencias del sistema educativo público en América Latina en el manejo de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) para el desarrollo de la educación, así como a la falta de infraestructura tecnológica en las universidades y la falta de capacitación docente para

atender las clases en línea [1]. México no estaba preparado para las clases en línea por lo que, era necesario el regreso a las clases presenciales [2].

La población estudiantil se ha visto afectada por la pandemia en el ámbito psicosocial y emocional en donde el miedo, la ansiedad y el estrés; son elementos que propiciaron que el rendimiento académico y el aprendizaje se viera mermado. Como se sabe, el aislamiento a causa del confinamiento alteró los estilos de vida y las rutinas de los estudiantes en el ámbito familiar y personal [3]. Los estudiantes ansiaban regresar a las aulas en la modalidad presencial como aliciente para salir de la rutina, a pesar de lo que implicaba la “nueva normalidad”, con grupos de estudiantes menos numerosos, con medidas de higiene señalados por las escuelas como: el uso del cubrebocas en espacios cerrados, el uso constante del gel antibacterial y medir la temperatura corporal que no rebase los 37°C.

La brecha digital se enfatiza por las desigualdades socioeconómicas de los estudiantes [3]. El cierre de las clases presenciales en el 2020 y la organización espontánea de las clases en línea generaron grandes dificultades en la exclusión y marginación, ya que, las instituciones educativas se apresuraron a brindar soluciones para asegurar la continuidad educativa. Los datos mencionan que las universidades asumieron la modalidad en línea por la COVID-19 de manera emergente sin una preparación adecuada, acorde al personal y no se diga a los métodos pedagógicos al utilizar las herramientas tecnológicas y el manejo de recursos interactivos que permitieran una comunicación de manera eficiente en la enseñanza presencial y virtual [4].

Las Instituciones de Educación Superior (IES) en el regreso a las clases híbridas y presenciales tienen la responsabilidad social de garantizar la salud de la población escolar. Es decir, de docentes, estudiantes, personal administrativo y directivos para dar continuidad a las actividades académicas propias. Se habla que, con la llegada de la pandemia, las IES acentuaron las dificultades que regularmente padecen como: la reducción del financiamiento público, la baja de las demandas de ingreso, la deserción escolar y aunado a la pandemia, tuvieron que adquirir equipos tecnológicos que ayuden a los docentes a brindar clases en modalidad híbrida para el retorno gradual a las clases presenciales. El escenario de incertidumbre causado por la COVID-19 al iniciar las clases en línea permitirá conocer su impacto a corto y largo plazo, una vez que las IES abran sus puertas paulatinamente, ya que, los estudiantes se enfrentarán a realizar las actividades prácticas en los espacios destinados para ello [5, 6,7].

Las recomendaciones de la UNESCO (2020) a los gobiernos y a las instituciones de educación superior para afrontar la COVID-19 son las siguientes:

- Prepararse en la reapertura de las instituciones.
- Garantizar la continuidad de la educación en línea, asegurando la igualdad de oportunidades para todos los estudiantes.
- Atender las necesidades económicas, pedagógicas y socioemocionales de los estudiantes en la modalidad que les permita continuar sus cursos, a través de becas, y apoyo tutorial.

Se ha visto que las instituciones educativas de nivel superior tienen grandes problemas, pero también se ha percibido la intención de brindar un buen servicio a sus estudiantes, con la adquisición de licencias de las plataformas educativas como son: *Zoom, Google Meet, Microsoft Teams*, entre otras [1]. Así como la capacitación en las nuevas plataformas educativas. Sin embargo, con la suma de los esfuerzos realizados se tiene que brindar continuidad a la capacitación docente, así como brindar mantenimiento y cuidado a los equipos que pueden ayudar el aprendizaje sincrónico y asincrónico. La nueva normalidad tiene que hacer consciente a la sociedad que debemos protegernos personalmente para no afectar a otros, en el área educativa permitirá establecer redes de contacto, acceder a la información, a la capacitación más eficiente y a un costo más accesible, buscando la calidad de los servicios educativos, estos son los nuevos horizontes que deben valorar las IES para abrir su oferta educativa [8, 9].

Es por ello, que se consideró para la investigación, conocer la perspectiva de estudiantes de Ingeniería en Sistemas Computacionales del TecNM Campus Chilpancingo sobre el impacto de las clases en línea y el retorno a las clases presenciales durante el semestre febrero-junio 2022 en la pandemia de la COVID-19. Considerando la modalidad en línea y los nuevos aspectos que tienen que ver con el espacio físico de la institución.

Metodología

Caracterización del área de estudio

La investigación se realizó en el TecNM Campus Chilpancingo, institución educativa de nivel superior, que se ubica al sureste de México, en el estado de Guerrero. El contexto sociocultural es de nivel medio-bajo. El Instituto Tecnológico de Chilpancingo (ITCH), cuenta con cinco programas educativos: Ingeniería Civil, Ingeniería en Informática, Ingeniería en Gestión Empresarial, Contador Público y la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales (ISC), en donde se realizó la investigación durante el semestre febrero-junio 2022 [10].

Determinación de la muestra

La investigación se realizó con el apoyo de los estudiantes de segundo semestre de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, ya que fue, uno de los primeros programas educativos que regresaron a clases híbridas el 1 de marzo, a un mes de haber iniciado el semestre febrero-junio 2022. La población de segundo semestre estuvo conformada por 91 estudiantes, considerando un nivel de confianza (nc) de 89% y un error de muestreo (e) del 11%, se obtuvo una muestra representativa de 41 estudiantes, conformado por 29 varones (71%) y 12 mujeres (29%), con una edad promedio de 18 años. Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó la siguiente fórmula.

Donde:

$$n = \frac{N}{1 + N(e)^2}$$

variable	Descripción	Valor
N	Tamaño de la población	81
n	Tamaño de la muestra	41
nc	Nivel de confianza	89%
e	Error de muestra	11%

Sustitución de valores:

$$n = \frac{81}{1 + 81(0.11)^2} = \frac{81}{1.9801} = 40.9070 = 41$$

$$n = 41$$

Instrumento de Investigación

Se elaboró un cuestionario electrónico como instrumento de investigación, la cual se difundió en formato digital, diseñado por los investigadores del proyecto, se compartió la liga de *Microsoft Form*, ya que los estudiantes tienen cuentas institucionales y es más fácil el contacto con ellos.

El cuestionario se conformó de 28 reactivos, de las cuales 21 preguntas fueron elaboradas de opción múltiple y utilizando la escala *Likert* para una mejor medición de las respuestas; cinco preguntas fueron preguntas abiertas con la intención de que los estudiantes fueran enfáticos en unas preguntas; los dos restantes fueron dicotómicas. Los resultados fueron analizados en Excel. La aplicación de la encuesta se realizó el 16 de junio del presente año al concluir el semestre febrero-junio, con el objetivo de recopilar las opiniones de los 41 estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del TecNM Campus Chilpancingo y conocer la problemática de las clases híbridas en el nuevo retorno a clases semipresenciales.

Resultados

Los resultados aquí presentados son de un equipo de investigadores que hemos dado continuidad a la educación en línea y ahora la modalidad presencial a partir de las complicaciones generadas por la COVID-19 desde el año 2020. Se efectuó un análisis general de la percepción de los estudiantes inscritos en el segundo semestre de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del TecNM Campus Chilpancingo. Algunas de las preguntas fueron enfocadas al lugar donde radican y la distancia de traslado a de la institución, se realizó un análisis de la expectativa que tenían del retorno gradual a las clases presenciales y cómo percibieron las medidas implementadas por la institución en el regreso a las aulas, que fueron evidentes para los estudiantes y evaluaron muy bien al Tecnológico, como lo muestran las gráficas que se presentan más adelante.

Como se puede apreciar en la Figura 1, del total de alumnos de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales de segundo semestre, 29 son de género masculino y representa el 71% y 12 son del género femenino, lo que equivale a un 29%.

En el estudio se contempló necesario conocer la región del estado de Guerrero en donde el estudiante residió en el semestre febrero-junio 2022, como se observa en la Figura 2, la mayoría de los estudiantes que colaboraron en el estudio residen en la ciudad de Chilpancingo, con un 66% equivalente a 27 alumnos, mientras que un porcentaje menor se ubican en comunidades aledañas (Zumpango, Mazatlán, Petaquillas, Tixtla, Amojileca, Mochitlán, Palo Blanco, u otra comunidad cercana al Instituto Tecnológico de Chilpancingo), lo que representa un 34% que corresponde a 14 estudiantes.

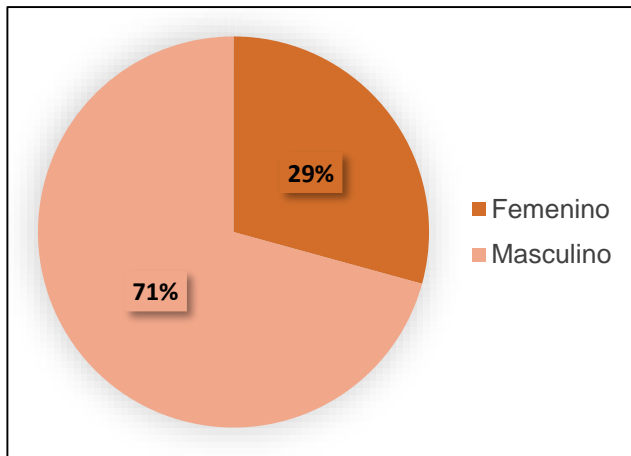


Figura 1. Género de los estudiantes de ISC

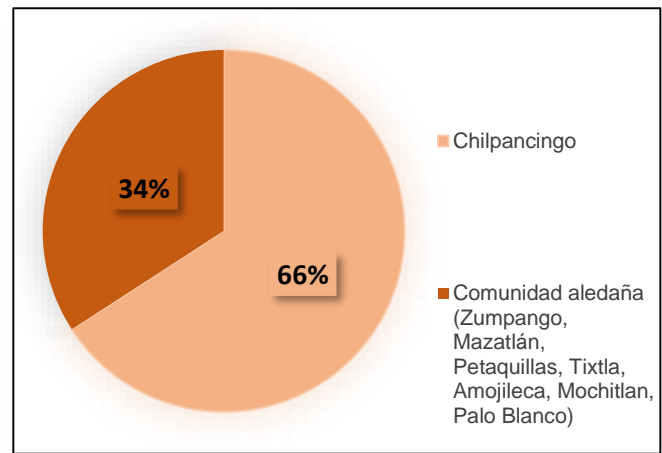


Figura 2. Lugar de residencia en el semestre actual.

Entre las consideraciones que mencionaron los estudiantes al cursar la clase en línea durante el semestre febrero-junio 2022, se puede observar en la Figura 3, donde un 37% respondieron que influyó negativamente en su aprendizaje equivalente a 15 alumnos; un 39% mencionó que influyó positivamente en su aprendizaje, correspondiente a 16 estudiantes y un 24% indicó que fue indiferente la influencia de las clases en línea para su aprendizaje, lo cual corresponde a 10 estudiantes.

En la Figura 4 se observa, el 10% se sintió excelente con el regreso a clases presenciales, equivalente a 4 alumnos; otro 10% consideró sentirse muy bien, lo que representa a 4 estudiantes; un 44% manifestó sentirse bien, correspondiente a 18 universitarios; el 34% indicó sentirse regular, representa a 14 alumnos y un 2% considero haberse sentido mal con el regreso a las clases presenciales, lo que, corresponde a 1 alumno.

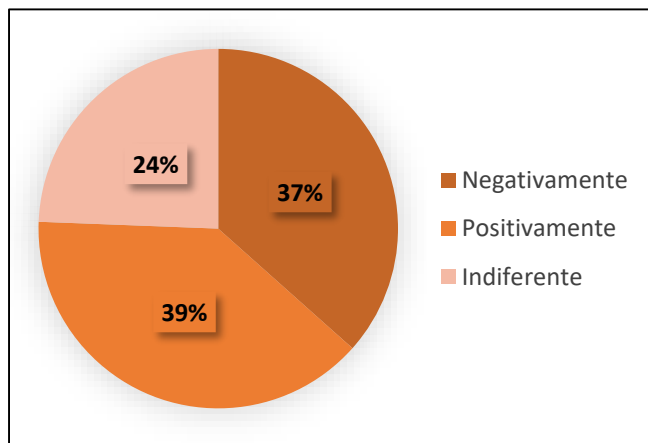


Figura 3. Influencia de las clases en línea en su aprendizaje

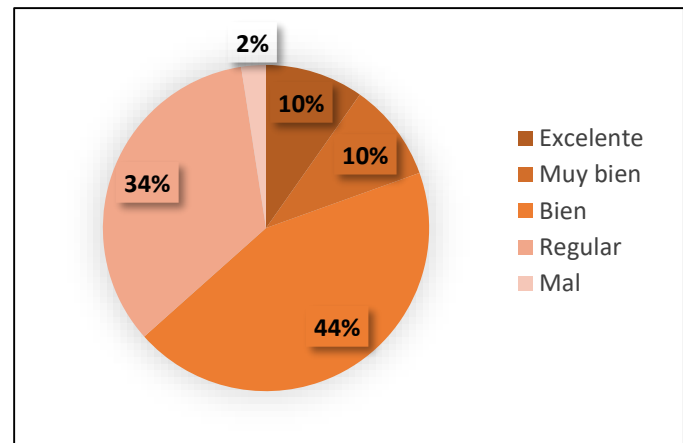


Figura 4. Expectativas del regreso a clases presenciales

En la Figura 5 se observa, que el 10% consideró sentirse muy bien, lo que representa a 4 estudiantes; un 29% manifestó sentirse bien, correspondiente a 12 universitarios; el 22% indicó sentirse regular, representa a 9 alumnos y un 39% considero haberse sentido mal en las clases presenciales, lo que, corresponde a 16 alumnos.

En la Figura 6 se les pregunto la percepción de los estudiantes acerca de la adaptación a las clases presenciales, Se destacó con el 44% el tiempo para realizar las actividades académicas en casa que corresponde a 18 alumnos; seguida de tener que trabajar y estudiar 20% que equivale a 8 estudiantes; el 17% menciona sobre los tiempos de traslado de la casa a la escuela 7 universitarios, ya que algunos viven en comunidades aledañas a la institución; solo un 10% marcó el horario entre clases 4 jóvenes; el 7% le costó levantarse temprano para el traslado al TecNM Campus Chilpancingo 3 alumnos, y el 2% indico que fueron otras causas (1 universitario).

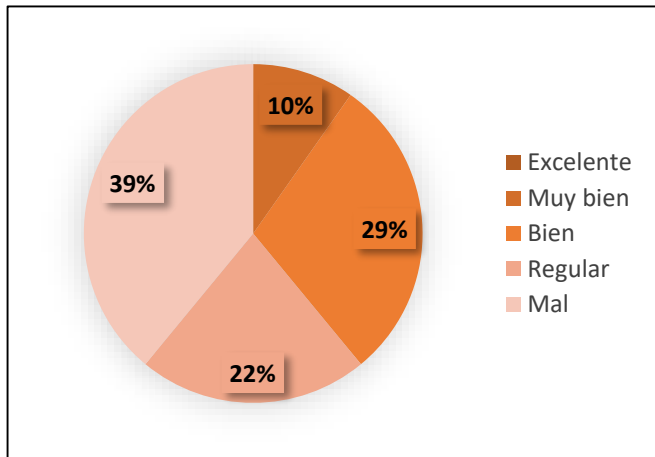


Figura 5. Evaluación al final del regreso a clases presenciales

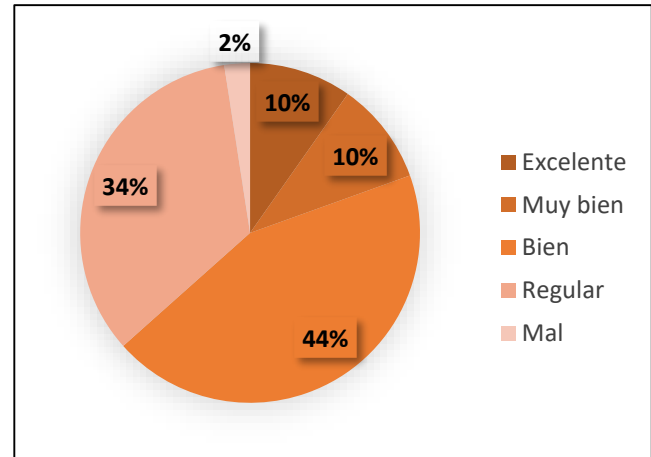


Figura 6. Adaptación del estudiante a las clases presenciales.

La Figura 7 representa la cantidad de asignaturas reprobadas según lo referido por los estudiantes encuestados, vale la pena destacar que los estudiantes del estudio ingresaron al Tecnológico de Chilpancingo en modalidad virtual y se ubican en el segundo semestre, es decir, es su primer semestre en modalidad presencial. De manera positiva se tiene que el 34% de los (14 estudiantes) refirió no haber reprobado ninguna asignatura; el 15% reprobó (6 alumnos) 1 materia, el 12% reprobó (5 estudiantes) 2 asignaturas, el 17% indicó haber reprobado tres asignaturas (7 alumnos), seguido del 5% con cuatro materias reprobadas (2 alumnos), el 10% no acreditó cinco asignaturas (4 estudiantes) y el 7% reprobó seis materias (3 estudiantes). Los estudiantes señalaron que las asignaturas que tiene un porcentaje mayor de reprobación fueron del área de las Ciencias Básicas (Probabilidad y Estadística, Calculo Integral y Algebra Lineal) en un 73% (30 alumnos).

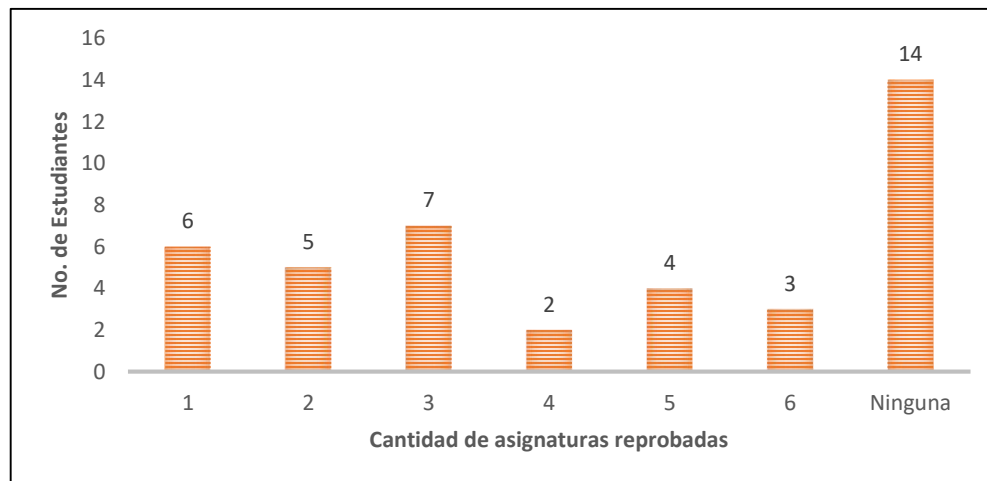


Figura 7. Asignaturas reprobadas al final del semestre

Los resultados de la Figura 8, son referente a la pregunta ¿Cómo evaluas tu aprovechamiento durante el semestre febrero-junio 2022? El 49% de los estudiantes se evaluó como regular (20 alumnos), otras investigaciones señalan que por causa de la pandemia hubo un atraso en el aprovechamiento escolar, los estudiantes mencionaron que se evaluaron así porque les pusieron poco esfuerzo a las clases presenciales. En tanto, el 27% (11 estudiantes) se calificó como bien y entre sus justificaciones son: “Puse mi mayor empeño de manera presencial”, “es más fácil entender las cosas de manera presencial”. En tercer lugar, con el 22% los jóvenes que se evaluaron como mal o reprobado (9 alumnos) solo el 2% se evaluó como muy bien (1 estudiante) y 0% como excelente (0 alumnos).

En la Figura 9, un aspecto importante para la investigación era conocer ¿Cómo evaluaron los estudiantes la seguridad e higiene en el acceso al TecNM Campus Chilpancingo? Los resultados de la evaluación se muestran en porcentaje mayoritario con el 39% Muy bien (16 estudiantes), el 24% lo evalúa como excelente (10 alumnos), el 27% como bien (11 alumnos) y el 10% como regular (4 estudiantes). El resultado favorable quizá se puede atribuir a que se han implementado espacios destinados con limpieza de manos y termómetros que ayudan a identificar la temperatura.

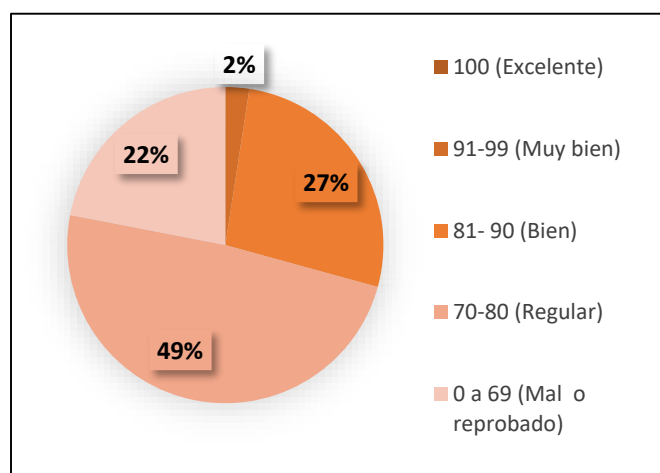


Figura 8. Aprovechamiento académico del estudiante en el semestre febrero junio 2022

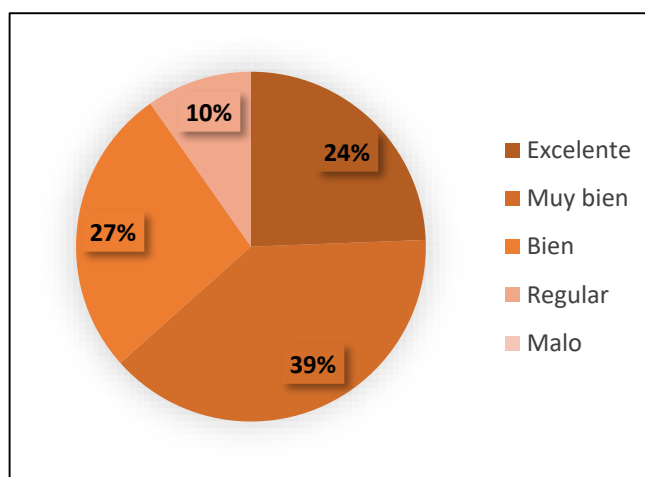


Figura 9. Evaluación de seguridad e higiene en el acceso al TecNM Campus Chilpancingo.

En el retorno a las clases presenciales, en un principio en modalidad híbrida para posteriormente en modalidad presencial, fue conveniente saber ¿Cómo evalúan la infraestructura e instalaciones del Instituto Tecnológico de Chilpancingo? Ver Figura 10, en donde el 44% de los encuestados lo evalúan como muy bien (18 alumnos), el 27% excelente (11 estudiantes), el 24% como buena (10 alumnos) y el 5% regular (2 estudiantes).

Dadas las condiciones sanitarias, era necesario considerar que los estudiantes tuvieran la necesidad de utilizar la red de internet dentro de las instalaciones del Tecnológico, y por cuestiones de salud algunos docentes tuvieron que impartir sus asignaturas en modalidad en línea. En la Figura 11, se les solicitó que evaluaran la calidad de la conexión a internet, el 39% lo calificó como regular (16 alumnos), seguido del 24% como bueno (10 estudiantes), y el 22% como malo (9 alumnos), solo el 10% mencionó que fue muy bueno (4 estudiantes) y el 5% como excelente (2 alumnos).

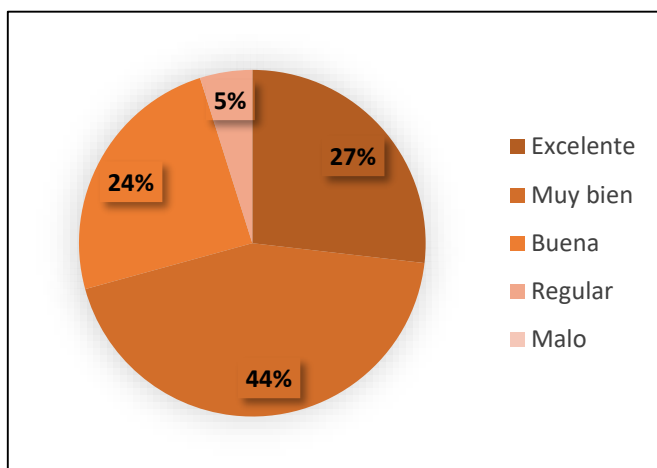


Figura 10. Evaluación de infraestructura e instalaciones del TecNM Campus Chilpancingo.

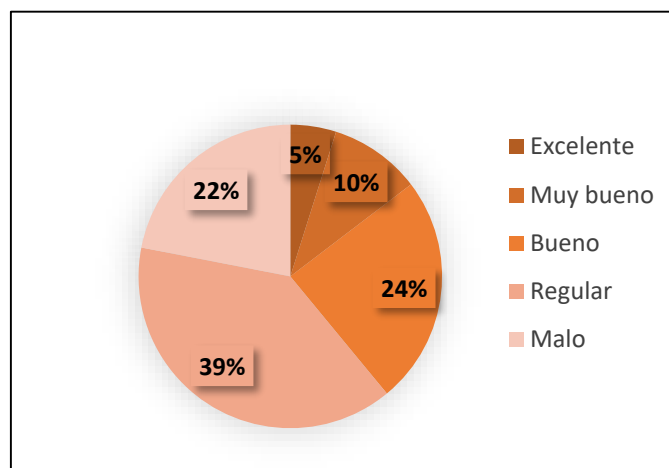


Figura 11. Evaluación de la calidad en la conexión a internet en el TecNM Campus Chilpancingo.

La Figura 12 se puede observar si la institución cumple con la expectativa de los estudiantes, para ello, se diseñó la pregunta: Académicamente el TecNM Campus Chilpancingo ¿Cumple con tus expectativas? Esta es una fortaleza para la institución ya que los estudiantes en un 83% señaló que, si cumple con sus expectativas (34 estudiantes) y, se tiene que trabajar para mejorar e incrementar el valor, ya que, el 17% dijo que no (7 alumnos), este porcentaje puede buscar otra alternativa de estudio.

Los estudiantes encuestados tuvieron la oportunidad de tomar las clases en las tres modalidades y con esa referencia se les preguntó: Después de tu experiencia en modalidad en línea, híbrida o presencial ¿Cuál consideras que es mejor para tu aprendizaje? las respuestas se pueden apreciar en la Figura 13. La mayoría con el 73% eligió la modalidad presencial (30 alumnos), solo el 17% prefirió la modalidad en línea (7 estudiantes) y el 10% prefiere la modalidad híbrida (4 universitarios).

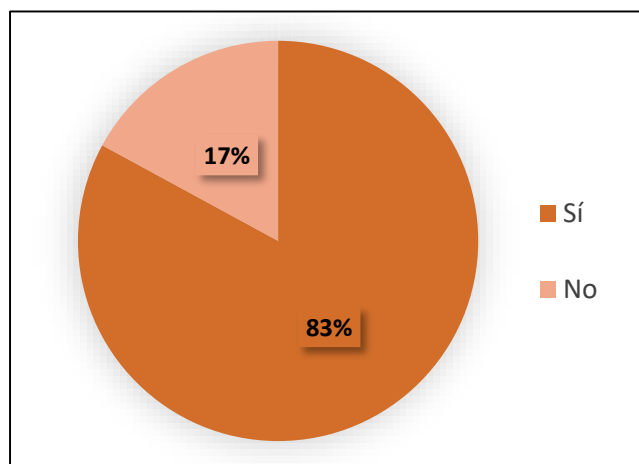


Figura 12. El TecNM Campus Chilpancingo cumple con las expectativas de los estudiantes

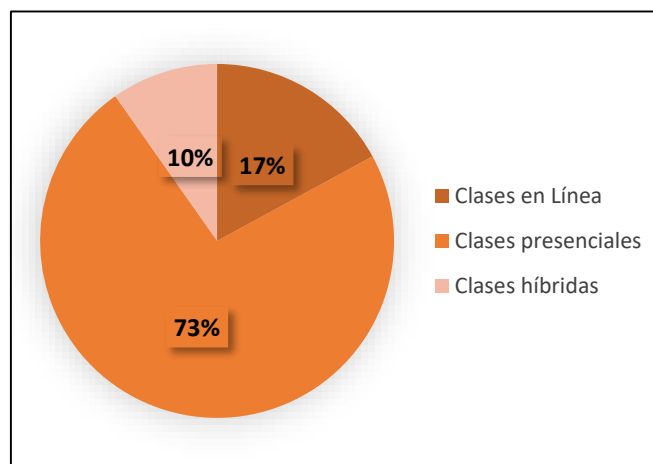


Figura 13. Preferencia de los estudiantes por la modalidad de las clases.

El Tecnológico de Chilpancingo siguiendo los lineamientos establecidos por el Tecnológico Nacional de México y las entidades que brindan recomendaciones para contrarrestar o disminuir la propagación de la enfermedad producido por la COVID-19, implementó una serie de medidas para proteger y ayudar a la población estudiantil. Entre las medidas destacan, los avisos oportunos y distribución de espacios para grupos no mayores de 25 estudiantes por aula, además puntos con desinfectante para manos y el uso de mascarillas en espacios cerrados, entre otras medidas que se muestra a continuación:

- Capacitación docente para el uso de los recursos tecnológicos instalados en las aulas y laboratorios de la institución.
- Seguridad e higiene en los accesos principales con desinfectante y termómetro como medida para evitar la propagación de la COVID-19.
- Instalación de lavamanos en espacios abiertos como: explanada, pasillos y entradas de edificios.
- Quioscos y áreas con acceso a internet para ingresar a clases en línea dentro de la institución.
- La adaptación de aulas híbridas con conexión a internet, pizarras eléctricas, cámaras de grabación y computadoras con plataforma *Teams* entre otros, para brindar clases a distancia y presenciales (híbridas).
- Regreso paulatino de sus programas educativos: primero tres carreras: Ingeniería en Sistemas computacionales, Ingeniería en Informática e Ingeniería en Gestión Empresarial y después las dos carreras con mayor número de estudiantes: Ingeniería Civil y Contador Público.
- Apoyo psicológico a estudiantes que lo requieren.

En la figura 14 se muestra evidencia fotográfica del aforo adecuado de las personas que pueden estar en un aula de clases, o en los laboratorios del TecNM Campus Chilpancingo, para ello, los docentes que imparten clases deben hacer uso del cubrebocas, así como, también los estudiantes, en la figura 14 se muestra las pantallas interactivas instaladas en el plantel con la finalidad de brindar una mejor atención a los estudiantes. Cabe destacar que la infraestructura implementada es muy útil para el caso de estudiantes que se encuentre a distancia.

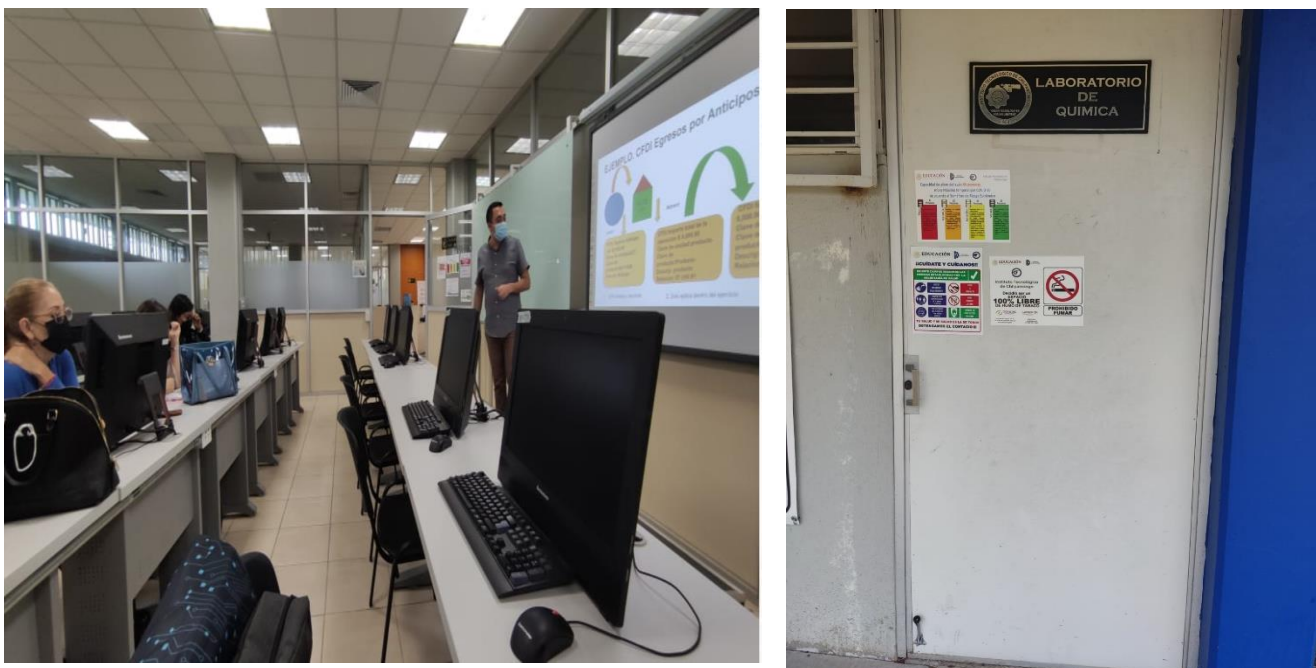


Figura 14. El TecNM Campus Chilpancingo implementó estrategias para atender a los estudiantes en la modalidad presencial.

Trabajo a futuro

Los investigadores de este proyecto han dado seguimiento a la percepción de los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje en la modalidad en línea desde el inicio de la pandemia ocasionado por la COVID-19. La adaptación de las plataformas educativas son herramientas que han permitido paliar en el proceso educativo, es por ello, conveniente dar continuidad para saber ¿Cómo los estudiantes se integran a la modalidad en presencial?

Un dato importante, es que lo estudiantes prefieren las clases presenciales porque permite una comunicación asertiva con los docentes, con sus compañeros, y con el entorno social, la distracción a diferencia de los comentarios de la modalidad en línea en donde destacan: el aburrimiento, el cansancio, el estrés y la distracción.

De los resultados obtenidos en la investigación, se pretende darle seguimiento al retorno a las clases presenciales, ya que es una oportunidad de investigación en varios aspectos académicos del estudiante, en el caso particular de las tutorías y su impacto en la salud emocional del estudiante, el papel de las asesorías académicas para disminuir los índices de reprobación y deserción, y darle seguimiento a las medidas implementadas en la institución para contrarrestar el contagio de la COVID-19.

Conclusiones

El retorno gradual de la población estudiantil generó expectativas en los jóvenes que ingresaban por primera vez a las aulas del TecNM Campus Chilpancingo, aunque ellos ya habían cursado en primer semestre, este fue en la modalidad en línea lo que les permitió conocer las instalaciones en el mes de marzo del semestre febrero junio 2022, una vez iniciado el semestre. De manera particular, los estudiantes de Ingeniería en Sistemas Computacionales tenían expectativas buenas para el retorno a clases, sin embargo, al finalizar el semestre mencionaron que les fue mal porque se les dificultó adaptarse a la modalidad presencial; adecuarse a la realización de las actividades escolares fue uno de los factores que influyó en su rendimiento.

Entre las dificultades que señalan los estudiantes sobre la institución son: mejorar la conectividad a internet para realizar sus actividades académicas, la calidad y el tiempo entre clases para poder ingerir sus alimentos con las medidas sanitarias ante la COVID-19; además, de brindar capacitación gradual a los docentes para el uso de las Tecnologías de la Información y comunicación con la intención utilizar los recursos actuales para que los estudiantes adquieran las competencias que requieren. Entre las acciones favorables que ha realizado el TecNM Campus Chilpancingo para la comunidad son adecuar la infraestructura y equipo en las aulas con tecnología para la impartición de clases en modalidad híbrida; la percepción en cuanto a la seguridad e higiene que brinda el tecnológico lo señalan como muy buena para evitar contagios por la Covid-19, la gran mayoría de los estudiantes encuestados señalan que la institución cumple con sus expectativas de educación superior.

Entre los retos que tiene el TecNM Campus Chilpancingo es promover capacitaciones para estructuración de las clases después de la “nueva normalidad”, brindar seguimiento oportuno a los estudiantes con asesorías académicas o el programa institucional de tutorías, además de darle importancia a las TIC en la metodología de la enseñanza con una planificación previa.

Agradecimientos

Agradecemos a los estudiantes que apoyaron a contestar el cuestionario para la realización de este trabajo. De manera particular, a los estudiantes de segundo semestre de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Departamento de Sistemas y Computación del semestre febrero-junio 2022, así como a las autoridades del TecNM Campus Chilpancingo por las facilidades brindadas para la realización de esta investigación.

Referencias

- [1] A. Acevedo-Tarazona, A.C. Valencia-Aguirre, & A.D. Ortega-Rey, Angie Daniela. “Educación en tiempos de pandemia: Perspectivas del modelo de enseñanza remota de emergencia en Colombia”. *Revista Historia de la Educación Latinoamericana*, 23(37), 93-112. 2021, Epub 28 de abril de 2022. <https://doi.org/10.19053/01227238.12704>
- [2] J. Rojas-Vega, D. Castro-Gomez, V. Damacén-Oblitas, J. Rojas-Silva, V Moquillaz “El retorno a la universidad durante la pandemia: Perspectivas en una escuela pública de obstetricia” 2021, DOI: 10.1590/SciELOPreprints.1035
- [3] I. Ordorika “Pandemia y educación superior” *Revista de la educación superior*, 49(194), 1-8. Epub 27 de noviembre de 2020. <https://doi.org/10.36857/resu.2020.194.1120>

- [4] Y. Jiménez Guerra, & M de los A. Ruiz González “Reflexiones sobre los desafíos que enfrenta la educación superior en tiempos de COVID-19” *Economía y Desarrollo*, 165(Supl. 1), e3. Epub 21 de enero de 2021. Recuperado en 01 de agosto de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0252-85842021000200003&lng=es&tlng=es.
- [5] G.A. Segura Lazcano, I. Vilchis Torres “Sociedad escolar y pandemia en México; la educación en línea: de refugio temporal a definitivo” *Apertura*, 13(2), pp. 142-157. 2021, DOI: <http://dx.doi.org/10.32870/Ap.v13n2.2006>
- [6] H. Contreras Hernández, & M.A. Cortina Saint André “La Nueva Realidad de la Educación Superior como derecho humano ante el COVID-19. Dilemas contemporáneos: educación, política y valores” 8(spe1), 00009. Epub 26 de marzo de 2021. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2563>
- [7] D. Ortega, J., Rodríguez, a., Mateos, A. “Educación Superior y la COVID-19: Adaptación Metodológica y Evaluación Online en dos Universidades de Barcelona”. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 15(1), e1236, 2021. <https://doi.org/10.19083/ridu.2021.1275>
- [8] Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2020b). *El teletrabajo durante la pandemia de covid-19 y después de ella*. Ginebra: OIT . https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@dgreports/@dcomm/@publ/documents/publication/wcms_762534.pdf
- [9] INEGI. (2020). Encuesta para la Medición del Impacto COVID-19 en la Educación (ECOVID-ED) 2020 NOTA TÉCNICA. Junio 23, 2022, de INEGI Sitio web: https://www.inegi.org.mx/contenidos/investigacion/ecovided/2020/doc/ecovid_ed_2020_nota_tecnica.pdf
- [10] E. Oropeza Bruno, G. Muñoz Atilano, et al “Repercusión de la educación a distancia provocada por el COVID-19 en el TECN/IT de Chilpancingo” *Journal CIM*, Vol. 9. Num 1, 2021.

Actitudes y competencias entre docentes universitarios: autopercepción comparada en el contexto pandémico

I.E. Corzas García^{1*}, M.E Chamosa Sandoval²

¹Universidad Justo Sierra ivettec@ujsierra.com.mx, ²Universidad Justo Sierra mchamosa@ujsierra.com.mx

Área de participación: Investigación educativa

Resumen

El objetivo del artículo fue determinar los puntos de confluencia o divergencia respecto a la autopercepción de académicos de la Universidad Justo Sierra (UJS) en cuanto a ciertas actitudes y competencias de gestión docente, tomando como referencia dos momentos de la pandemia por COVID-19: la primera etapa completamente a distancia con un modelo de Enseñanza Remota Emergente (ERE) y la segunda etapa con estructura mixta con un modelo B-Learning. Se diseñó un instrumento cuantitativo que explora tres dimensiones: competencias tecnológicas, actitudes socioemocionales y competencias digitales aplicadas a la educación. En total se obtuvo la participación de 249 docentes en la primera etapa y 145 en la segunda. Entre los principales hallazgos destaca que el 71% de los entrevistados se mostró con actitud optimista ante la necesidad de adaptar su gestión docente en condiciones emergentes, el 25% tuvo pensamientos pesimistas y únicamente el 4% se identificó con la incertidumbre.

Palabras clave: competencias, tecnología, educación, remoto.

Abstract

The objective of this work was to determine the points of confluence or divergence regarding the self-perception of academics from the Justo Sierra University in terms of some attitudes and competencies of teaching management, taking as reference two moments of the COVID-19 pandemic: the first completely remote stage (Emerging Remote Teaching Model) and the second stage with a mixed structure (B-Learning Model). A quantitative collection instrument was designed, adapted for both stages, taking into consideration three dimensions: technological skills, socio-emotional skills and digital skills applied to education. In total, the voluntary participation of 249 teachers was obtained in the first stage and 145 in the second. Among the main findings, it stands out that 71% of the interviewees showed an optimistic attitude towards the need to adapt their teaching management in emerging conditions, 25% had pessimistic thoughts and only 4% identified with uncertainty.

Key words: skills, technology, education, remote

Introducción

Si bien competencias como la flexibilidad, adaptabilidad al cambio y apertura a nuevos saberes son de suyo indispensables para el universo de la educación formal, la pandemia del COVID-19, orilló a todas las escuelas de todos los niveles del mundo a emprender un viaje de autoconocimiento y adaptación de emergencia. Al igual que en el resto del mundo, México enfrentó en el primer semestre de 2020 una contingencia sin precedentes en los últimos cien años.

La Universidad Justo Sierra (UJS) forma parte del Sistema Educativo Justo Sierra que brinda servicios escolares desde preescolar hasta posgrado. El nivel universitario cuenta con cuatro campus y alrededor de 30 programas educativos desde licenciatura hasta doctorado; lo que impulsó la generación de iniciativas robustas e inmediatas que proveyeran a todos sus estudiantes continuidad en su formación educativa. Así, en una primera etapa en 2020 la UJS creó su Modelo de Enseñanza Remota Emergente (ERE), el cual se convirtió en el soporte estratégico para asegurar de manera remota y a distancia todas las sesiones de clases proyectadas, así como las demás actividades co-curriculares de investigación, extensión y vinculación y demás servicios complementarios que pudieran adaptarse a dicha modalidad de trabajo.

Posteriormente, con la eventual reducción de contagios y mortalidad tras las infecciones en el país y la creciente campaña de vacunación, poco a poco en 2021 se comenzaron a llevar a cabo algunas sesiones presenciales para algunos programas académicos, especialmente en laboratorios y talleres. En esta segunda etapa se

desarrolló el Modelo B-Learning de la UJS, el cual fue concebido como un proceso de evolución y adaptación del Modelo ERE.

Competencias digitales y actitudes socioafectivas en educación

De acuerdo con la UNESCO, las competencias para el trabajo y la vida abarcan una serie de experiencias de aprendizaje, así como la adquisición de saberes prácticos, actitudes y conocimiento útiles para la resolución de problemáticas que pueden detectarse tanto en el mercado laboral como en cualquier esfera de la sociedad [1]. Siguiendo esta lógica, puede afirmarse que las competencias digitales y tecnológicas afiliadas al ámbito educativo, son aquellas que implican el desarrollo de saberes prácticos, actitudes y conocimientos en favor de la construcción o puesta en común de nuevos conocimientos. Así, en un mundo cambiante y en constante transformación, tanto docentes como estudiantes requieren de una alfabetización y capacitación permanentes en el rubro de las tecnologías digitales.

De manera formal, en lo que se refiere a las competencias digitales aplicadas a la educación, existen varias iniciativas que han establecido cánones y lineamientos para potenciar la alfabetización y dominio tecnológico, tal es el caso del Marco de competencias de los docentes en materia de TIC, presentado por la UNESCO (2019) [2], donde se destaca la importancia de comprender, aplicar y administrar los recursos educativos digitales. Por su parte, la Unión Europea [3], a través de su Marco Europeo para la Competencia Digital de los Educadores, destaca la relevancia de incluir las competencias digitales (de manera transversal) tanto entre los estudiantes, como en los educadores, destacando la relación entre compromiso profesional, competencias digitales, enseñanza y aprendizaje; lo que tendría que derivar en el empoderamiento y desarrollo digital de los propios estudiantes.

Adicionalmente, es de destacar que la percepción sobre las habilidades y competencias digitales por parte de los educadores es de gran relevancia al momento de llevar a cabo sus funciones de gestión docente. En esta línea de ideas, para la construcción del instrumento que aquí se expone, se tomó como referente el trabajo de Cañete-Estigarribia [4] quienes realizaron y validaron un instrumento con base en las siguientes dimensiones: área de conocimientos técnicos, conocimiento sobre los aspectos socioemocionales y el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación de los profesionales de la docencia.

Por su parte, las actitudes socioafectivas de los educadores también forman parte indispensable en el entramado de la educación formal. “Las competencias socioemocionales o socioafectivas son una dimensión fundamental para la formación integral de los estudiantes, en los diversos niveles educativos” [5]. La importancia de la escuela como espacio de aprendizaje socioemocional es indiscutible, pues el estudiantado suele adoptar como sujetos prototípicos a sus docentes y recurre a éstos para encontrar soporte y fuerza ante situaciones complejas.

En esta línea de ideas, Gutiérrez-Torres y Buitrago-Velandia (2019) afirman que es en el contexto escolar donde se consolidan los imaginarios, realidades, subjetividades y conductas de los estudiantes [6]. En esta serie de procesos los académicos fungen como guías y ejemplo en cuanto a las maneras en que éstos generan relaciones, vínculos sociales y reacciones en general. Por tanto, las actitudes socioemocionales que tomen los docentes se verán directamente reflejadas en el ánimo de sus estudiantes.

Fundamento de los modelos de gestión académica de la UJS en el contexto pandémico

De acuerdo con lo enunciado hasta el momento, la Universidad Justo Sierra generó y puso en marcha dos modelos de trabajo emergente.

- Etapa 1. Modelo de Enseñanza Remota Emergente (ERE) que se aplicó durante todo el proceso de confinamiento y cierre total de instalaciones.
- Etapa 2. Modelo B-Learning, al cual se recurrió durante el confinamiento parcial, en el periodo en que se llevaron a cabo clases teóricas de manera remota y algunas “prácticas esenciales” en modalidad presencial y escalonada.

En el marco de la primera etapa se diseñó e implementó el Modelo de Enseñanza Remota Emergente, para lo cual seleccionó *Microsoft Teams*® como plataforma de comunicación y colaboración. A través de dicha tecnología la UJS continuó sus labores desde el primer día del confinamiento. El desarrollo y gestión de este Modelo fue liderado por la Dirección Académica y de Investigación de la UJS, a través de la administración de plataforma de educación a distancia. Entre las principales acciones destacaron: generación de materiales de apoyo y capacitación emergente dirigidos a favorecer la función docente ante esta emergencia; estrategias de apoyo para

a ejecución y continuidad de diversas funciones administrativas y de soporte (adicionales a los procesos meramente académicos).

Cabe destacar que los procesos de capacitación se enriquecieron con las acciones que desde tiempo atrás venían generándose a través del Programa de Formación y Actualización Docente y Directiva (PROFAD), el cual es la iniciativa responsable de la capacitación y actualización del personal docente y directivo. Este Programa, a través de más de 20 años, ha brindado capacitación en diferentes competencias que buscan la integralidad en sus académicos. Los beneficios otorgados por la robusta implementación del PROFAD y la intensiva colaboración con la administración de plataforma de educación a distancia, desde el inicio del confinamiento, dieron solidez a la aplicación de estrategias de emergencia que retomaron todos los recursos posibles para garantizar la continuidad en la formación académica.

A lo largo de este confinamiento, el PROFAD, a través de la detección de necesidades de capacitación Docente (DNC) ofertó una extensa variedad de cursos de capacitación, llegando a un total de 51 cursos en su primera etapa en agosto del 2020. Dicha actualización se enfocó principalmente en las siguientes competencias: manejo de nuevas tecnologías, planeación educativa, desarrollo humano profesional, investigación e innovación, desarrollo de materiales didácticos, comunicación humana, evaluación de los aprendizajes, visión humanista Justo Sierra y desarrollo humano.

Metodología

La pregunta de investigación que guio el diseño de investigación aquí reportado fue: ¿Existen puntos de confluencia o divergencia respecto a la autopercepción de los docentes de la Universidad Justo Sierra (UJS) en cuanto a algunas de sus competencias de gestión docente en el marco de las distintas etapas de acción derivadas de la pandemia por COVID-19? El objetivo de trabajo fue: determinar los puntos de confluencia o divergencia respecto a la autopercepción de académicos de la Universidad Justo Sierra en cuanto a algunas actitudes y competencias de gestión docente, tomando como referencia dos momentos de la pandemia por COVID-19: la primera etapa completamente a distancia (Modelo de Enseñanza Remota Emergente) y la segunda etapa con estructura mixta (Modelo B-Learning). La metodología general de este proyecto fue de corte cuantitativo y con un enfoque deductivo. La técnica de recolección fue el sondeo no probabilístico, para lo cual se llevó a cabo el diseño de un cuestionario estructurado.

Materiales

Para obtener la información que permitiera cumplir con lo anterior, se desarrolló un cuestionario dirigido a indagar en tres dimensiones: competencias tecnológicas, actitudes socioemocionales y competencias digitales aplicadas a la educación, mismas que se desglosan en la Tabla 1. Cabe destacar que, dado que la recolección se llevó a cabo en dos periodos o etapas (Modelo de Enseñanza Remota Emergente y Modelo B-Learning), durante la segunda recolección se llevó a cabo una adaptación en la redacción de los ítems, por lo tanto, a continuación, se incluye una tabla que muestra ambas redacciones.

Tabla 1. Diseño de cuestionario para explorar la autopercepción de académicos hacia la enseñanza remota de emergencia en el contexto de la pandemia por COVID-19

Dimensión	Ítems entrevista primera etapa	Ítems entrevista segunda etapa
Competencias tecnológicas	¿Me siento preparado(a) para trabajar en la modalidad de enseñanza remota emergente?	¿Me sentí preparado(a) para trabajar en la modalidad de enseñanza remota emergente?
	Lee la siguiente lista de retos y califica del 1 al 5, cuáles han sido los retos que has enfrentado durante tu gestión de la enseñanza remota de emergencia, siendo el 5 el que ha sido más importante superar para ti. Trata de no repetir ninguna calificación	Lee la siguiente lista de retos y califica del 1 al 5, cuáles fueron los retos que has enfrentado durante la gestión de la enseñanza remota de emergencia, siendo el 5 el que fue más importante superar para ti. Trata de no repetir ninguna calificación

¿Cuál es el medio de comunicación principal con tus alumnos durante la contingencia?

¿Cuál fue el medio de comunicación principal con tus alumnos durante la gestión de la enseñanza remota?

Tabla 1 (Continuación)

	<p>¿Qué es lo que te gusta de la modalidad de enseñanza remota emergente? (puedes marcar más de una opción)</p> <p>¿Cuáles consideras pueden ser los principales obstáculos para que puedas desempeñar tu gestión docente remota?</p> <p>Lee la siguiente lista de retos y califica del 1 al 5, cuáles han sido los retos que has enfrentado durante tu gestión de la enseñanza remota de emergencia, siendo el 5 el que ha sido más importante superar para ti. Trata de no repetir ninguna calificación</p>	<p>¿Qué es lo que te gustó de la modalidad de enseñanza remota emergente? (puedes marcar más de una opción)</p> <p>¿Cuáles fueron los principales obstáculos para que pudieras desempeñar tu gestión docente remota?</p> <p>Lee la siguiente lista de retos y califica del 1 al 5, cuáles fueron los retos que enfrentaste durante la gestión de la enseñanza remota de emergencia, siendo el 5 el que fue más importante superar para ti. Trata de no repetir ninguna calificación</p>
Actitudes socioemocionales	<p>¿Cómo te sientes trabajando en modalidad remota? ¿Exprésalo con una sola palabra?</p>	<p>¿Cómo te sentiste trabajando en modalidad remota? ¿Exprésalo con una sola palabra?</p>
Competencias digitales aplicadas a la educación	<p>¿Cuentas con experiencia en impartir clases de manera virtual, en programas de educación a distancia previo a la contingencia COVID-19?</p> <p>Has participado como estudiante en algún curso a distancia con el que cuentas constancia de participación o acreditación</p>	<p>¿Impartiste clases de manera virtual en otras instituciones durante la contingencia por COVID-19?</p> <p>¿Participaste como estudiante en algún curso a distancia con el que hayas obtenido constancia de participación o acreditación durante el confinamiento?</p>

Preparación y desarrollo

Los criterios de inclusión fueron:

- Mujeres y hombres de edades indistintas que formaron parte de la plantilla docente de la UJS durante el periodo en que se implementó el Modelo de Enseñanza Remota Emergente y que acreditaron algún curso del PROFAD en los ciclos 2020-2, 2021-1 y 2021-2
- Mujeres y hombres de edades indistintas que formaron parte de la plantilla docente de la UJS durante el periodo en que se implementó el Modelo B-Learning y que acreditaron algún curso del PROFAD en los ciclos 2020-2, 2021-1 y 2021-2

Por su parte, los criterios de exclusión fueron:

- Hombres o mujeres adscritos a la UJS que no contaron con grupo activo en los ciclos 2020-2, 2021-1 y 2021-2 o
- Hombres o mujeres adscritos a la UJS que aún con grupo activo en los ciclos 2020-2, 2021-1 y 2021-2 no hayan acreditado algún curso PROFAD en dichos periodos

La recolección de información se llevó a cabo a través de la técnica de aplicación de cuestionario autoadministrado, distribuido a través de una liga para su resolución en Microsoft Forms®. Durante la primera etapa de aplicación se obtuvieron 249 respuestas (54% mujeres y 46% varones). Para la segunda etapa se recibieron 145 respuestas (39% mujeres y 61% varones). Se contó con la participación de los cuatro campus universitarios: Acueducto, Cien Metros, Ticomán y San Mateo.

Resultados y discusión

El instrumento de recolección estuvo conformado por tres dimensiones, a continuación, se muestran los resultados más destacados para cada una de éstas.

Competencias tecnológicas

En la Figura 1 se observa que para la primera etapa que correspondió a la aplicación del Modelo de Enseñanza remota de emergencia hubo un 88% de autopercepción positiva en cuanto al nivel de preparación tecnológica para enfrentar el reto. Se considera una proporción bastante alta y esto fue posible gracias a que ya se venía impartiendo capacitación intensiva en el área de competencias tecnológicas desde antes de la pandemia. Con el confinamiento se intensificaron las iniciativas de actualización, con lo que para la segunda etapa se aprecia un aumento de 4% respecto a la percepción positiva.

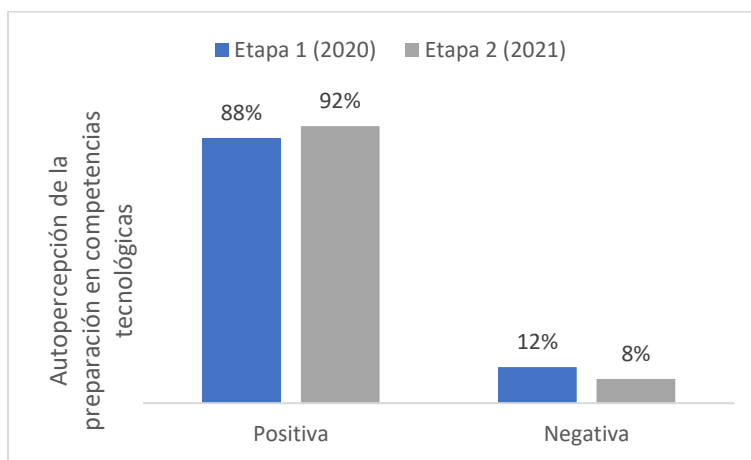


Figura 1. Autopercepción sobre la preparación para trabajar en modalidad emergente

En la Figura 2, en ambas etapas el medio más recurrente fue Microsoft Teams®. El segundo medio más recurrente fue el correo institucional. Esto deja en evidencia que desde el inicio del trabajo emergente la comunidad docente de la UJS adoptó las herramientas institucionales. En general no se aprecian divergencias significativas entre ambas etapas; la única diferencia es que en la segunda etapa aumentó el uso de WhatsApp, lo que se atribuye al aumento de salidas, es decir como los docentes ya no estaban todo el tiempo en casa el uso de redes sociales gratuitas se perfiló como una mejor opción para mantenerse en comunicación con estudiantes.

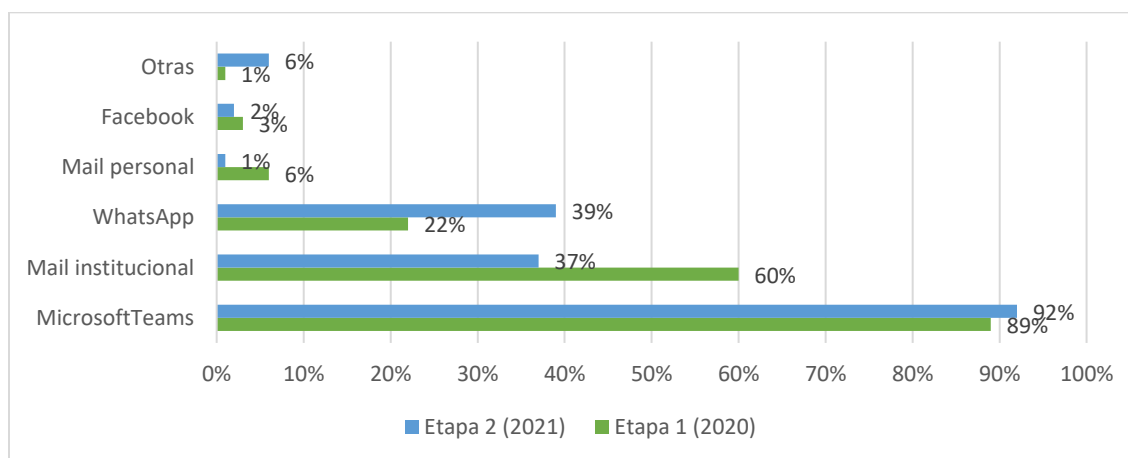


Figura 2. Medio de comunicación principal con alumnos durante modalidad emergente

Actitudes socioemocionales

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 3, en ambos periodos se aprecia mayor mención en la ventaja de evitar traslados, lo que reduce el estrés entre los entrevistados; aun cuando la segunda etapa podía implicar algunas salidas los traslados seguían siendo reducidos. En segundo lugar, destaca el incremento de la productividad (con una diferencia mínima entre ambas etapas, solo 2%). En la primera etapa se apreció un 14% de agrado hacia el trabajo en casa, porcentaje que mostró una tendencia al alza con 4 puntos porcentuales en la segunda etapa. En cuanto a la concentración se observa la mayor divergencia entre las dos etapas, puesto que el porcentaje de concentración se redujo en la segunda, esto debido a que era tiempo de comenzar a combinar salidas con un confinamiento menos riguroso.

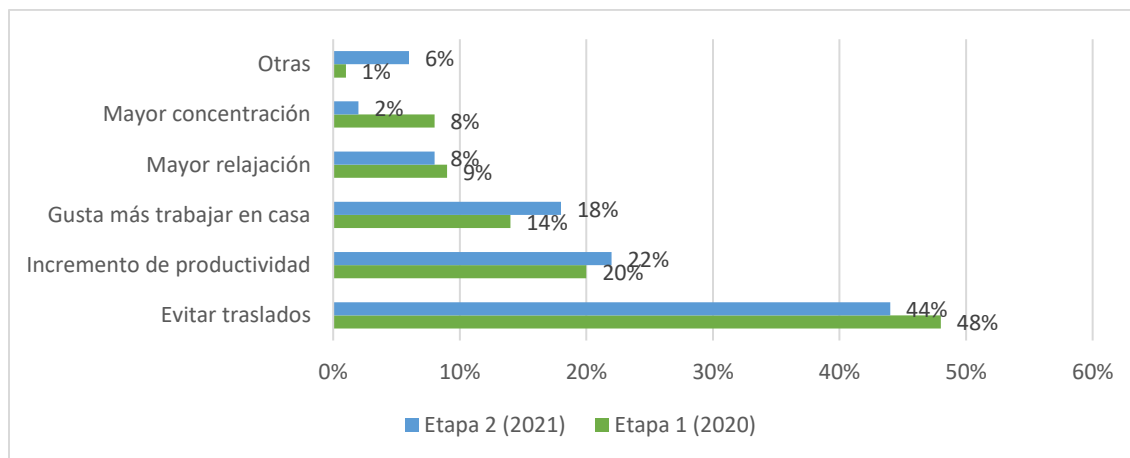


Figura 3. Aspectos preferidos de la modalidad remota

A fin de evidenciar con mayor precisión las actitudes socioemocionales, se solicitó a los entrevistados que utilizaran una sola palabra para expresar sus sentimientos o actitud anímica respecto a la modalidad remota (primera etapa) y semi remota (segunda etapa). Para su análisis se organizaron las palabras en tres dimensiones: a) percepción de incertidumbre, b) percepciones negativas y pesimistas, c) percepciones positivas y optimistas. En la tabla 2 se aprecia que las actitudes en ambas etapas tendieron en gran proporción hacia percepciones positivas y optimistas. En ambos periodos, la proporción hacia unas actitudes y otras se mantuvo similar.

Tabla 2. Principales actitudes socioemocionales hacia el trabajo remoto

DIMENSIONES	ETAPA 1 (2020)	ETAPA 2 (2021)	PROMEDIO
Percepción o actitud de incertidumbre	5%	3%	4%
Percepciones o actitudes negativas y pesimistas	29%	21%	25%
Percepciones o actitudes positivas y optimistas	76%	66%	71%
		Total	100%

Competencias digitales aplicadas a la educación

Para asegurar las competencias digitales de los académicos se requiere que éstos adquieran experiencia idealmente en dos sentidos: como docente o facilitador de aprendizaje y como estudiante. La primera es evidente, un docente debe adquirir experiencia en el ramo educativo: estrategias, pedagogías digitales, estilos de aprendizaje, etcétera. Pero para poder empatizar con sus estudiantes, para conocer el universo de la educación remota, es indispensable haber vivido la experiencia digital desde el otro lado, desde la silla de los estudiantes. Por esto, se buscó explorar la proporción de los académicos entrevistados que han tenido ambas experiencias. Tal como se aprecia en la Tabla 3 Experiencia en modalidades remotas o de manera virtual, desde un punto de vista global (considerando ambas etapas) los académicos entrevistados reportaron haber experimentado más como estudiantes que como docentes en el mundo remoto o virtual. De manera diferenciada en ambas esferas

se apreció una transformación de cara a la segunda etapa, es decir, para 2021 los entrevistados demostraron haber aumentado significativamente su actividad y/o experiencia tanto como docentes como estudiantes de las modalidades virtuales o remotas.

Tabla 3. Experiencia en modalidades remotas o de manera virtual

	ETAPA 1 (2020)		ETAPA 2 (2021)		PROMEDIO	
	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO
Experiencia como docente remoto o virtual	49%	51%	61%	39%	55%	45%
Experiencia como estudiante remoto o virtual	63%	37%	84%	16%	73.5%	26.5%
					Total	100% 100%

Trabajo a futuro

Se considera que es de relevancia dar seguimiento al menos dos periodos más, esto con el fin de generar un comparativo más amplio sobre las percepciones y actitudes que los académicos de la Universidad han identificado en torno al trabajo remoto o virtual. Determinar las estrategias en donde sea posible fusionar los aprendizajes y experiencias previas a la pandemia y posteriores a ésta es otra línea de trabajo a futuro; es decir, facilitar la fusión integrada de los mejores elementos que se puedan retomar de ambos periodos.

Conclusiones

De los resultados de esta investigación, se identificaron mayores puntos de confluencia entre los dos periodos analizados: la primera etapa completamente a distancia (Modelo de Enseñanza Remota Emergente) y la segunda etapa con estructura mixta (Modelo B-Learning). Tras la revisión de la información recabada se aprecia que evidentemente no se contaba con las herramientas idóneas para responder a los retos educativos de la pandemia. En todo el mundo hubo que llevar a cabo ajustes imponderables, así como el desarrollo de estrategias para actuar en consecuencia de manera rápida y eficaz.

A pesar de que, desde hace casi dos décadas, la Universidad Justo Sierra ya venía implementando un programa fortalecido de actualización y formación docente la pandemia trajo consigo desafíos que han requerido mucha atención. Si bien desde el primer día del confinamiento la institución contaba con la infraestructura y capacitación relativamente suficiente para iniciar la atención emergente, si fue necesario emprender una aventura de capacitación extrema e intensiva entre académicos, administrativos y gestores. Durante las dos etapas estudiadas en este documento destaca que un alto porcentaje de docentes se sentía preparado para enfrentar la necesidad de impartir clases de manera remota o virtual (88% para la primera etapa y 92% para la segunda), lo que refleja el mayor logro del Programa de Formación y Actualización Docente y Directiva (PROFAD) puesto que la capacitación permanente en los rubros pedagógicos, tecnológicos y de habilidades blandas fue de gran apoyo para enfrentar los retos y cumplir de manera asertiva con los compromisos educativos que tenía la Institución.

Cabe destacar que las actitudes socioafectivas del equipo docente han sido de gran ayuda para el engranaje de la educación emergente. Lo anterior en virtud de que en promedio el 71% de los docentes entrevistados en ambas etapas se manifestaron con percepciones o actitudes positivas y optimistas (76% en la primera etapa y 66% en la segunda) lo que definitivamente favoreció las dinámicas pedagógicas, tecnológicas y sociales de construcción de aprendizajes entre la población estudiantil. A pesar de los retos laborales, sociales, familiares y de salud personal que tuvieron que enfrentar los docentes, especialmente en el 2020, las reacciones actitudinales de estos y su fuerza socioemocional ha sido destacada.

Por otro lado, destaca el elevado porcentaje de docentes que han vivido directamente la experiencia de la educación remota y/o virtual. Esta actitud abierta al nuevo conocimiento y a la adaptabilidad de canales y

estrategias formativas por parte de los docentes es una gran herramienta para el funcionamiento de toda institución educativa.

En conclusión, puesto que las universidades son en sí mismas espacios para la creación y puesta en común de nuevo conocimiento, así como de estrategias y procesos innovadores en beneficio de los nuevos saberes, es de vital importancia mantener y promover en todos los ciclos programas de actualización y formación que favorezcan el desarrollo de actitudes, habilidades y conocimientos encaminados a la adaptabilidad al cambio, el desarrollo autogestivo, la innovación permanente y la construcción de saberes nuevos y flexibles.

Agradecimientos

Se agradece al Doctor Cruz Edgardo Becerra González, Director Académico y de Investigación por las facilidades otorgadas para la elaboración y aplicación de instrumentos en todos los campus universitarios.

Referencias

- [1] UNESCO, «Qué debe saber acerca de las competencias para el trabajo y la vida.,» 2 09 2022. [En línea]. Available: <https://www.unesco.org/es/education/skills/need-know>.
- [2] UNESCO., «Marco de competencias de los docentes en materia de TIC,» 2019. [En línea]. Available: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000371024.locale=en>.
- [3] R. Christine, «Marco Europeo para la Competencia Digital de los Educadores,» MetaRed, 2017. [En línea]. Available: https://www.metared.org/content/dam/metared/pdf/marco_europeo_para_la_competencia_digital_de_los_educadores.pdf. [Último acceso: 10 05 2022].
- [4] D. T.-C. C. L.-D. A. G.-G. M. Cañete-Estigarribia, «Instrumento de autopercepción de competencia digital para futuros docentes.,» *Padi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI. 9(especial)*, pp. 85-9, 2021.
- [5] R. y. V. S. M. Huerta Cuervo, «¿Cómo se atendieron las competencias socioafectivas de los estudiantes de educación superior en la pandemia? .» <https://www.scielo.br/j/tl/a/StZw6rhXtFhvJZDdL8KqxCN/?format=pdf&lang=>,» *Texto Livre, Linguagem e Tecnologia*, vol. 14, nº 2, pp. 1-13, 2021.
- [6] A. B.-V. S. Gutiérrez-Torres, «Las habilidades socioemocionales en los docentes: herramientas de paz en la escuela.,» *Praxis & Saber.*, vol. 10, nº 24, pp. 167-198, 2019.

Aplicación didáctica para la gestión del estándar IEEE 830-1998 en la asignatura ingeniería de software

C. Nava Arteaga^{1*}, P. Quitl González¹, M. Herrera Hernández², M. Ruiz Martínez¹, R. Aguilera Chiguils³.

¹Depto. de Sistemas y Computación, Tecnológico Nacional de México, campus Orizaba, Av. Ote. 9 número 852, Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Veracruz, México.

²Depto. de Ciencias Básicas, Tecnológico Nacional de México, campus Orizaba, Av. Ote. 9 número 852, Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Veracruz, México.

³Depto. de Sistemas y Computación, Estudiante de Ing. En sistemas computacionales del Tecnológico Nacional de México, campus Orizaba, Av. Ote. 9 Número 852, Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Veracruz, México.

[*concepcion.na@orizaba.tecnm.mx](mailto:concepcion.na@orizaba.tecnm.mx)

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

El estándar IEEE 830-1998 permite un análisis sobre los requerimientos que deben tener las aplicaciones de software, en este artículo se presenta la primera versión de la aplicación didáctica (AD) para el llenado del estándar, así como los resultados obtenidos en el uso de esta en el semestre enero-junio 2022 para la asignatura de ingeniería de software impartida en la carrera de ingeniería en sistemas computacionales dentro del TecNM campus Orizaba. El propósito de la aplicación es definir y refinar el contenido de la plantilla en cada una de las secciones que abarca, y es de gran relevancia para la especificación de requerimientos de software. La AD contribuyó a profundizar en los tipos de requisitos y el orden lógico que debe seguirse para elaborar el documento de especificación de requerimientos, logrando un 80% de aceptación de la AD por parte de los estudiantes.

Palabras clave: IEEE, estándar, requerimientos.

Abstract

The IEEE 830-1998 standard allows an analysis of the requirements that software applications must have and in this article the first version of the didactic application (DA) for the completion of the standard is presented, as well as the results obtained in the use of this in the semester January-June 2022 in the subject of software engineering; the purpose of the application is to define and refine the content of the template in each of the sections and subtopics that it covers, the filling of the template is of great relevance for the specification of software requirements in the subject mentioned above which is taught in the computer systems engineering career at the TecNM Orizaba campus, the application helped students understand and delve into the types of requirements and the logical order that must be respected to make the requirement specification document.

Key words: IEEE, standard, requirements.

Introducción

La impartición de la asignatura ingeniería de software se oferta en el 6o semestre para la carrera de Ingeniería de Sistemas Computacionales en el Tecnológico Nacional de México (TecNM) campus Orizaba, generó la necesidad de automatizar el llenado de la plantilla IEEE 830 en la especificación de requerimientos de software a través de una aplicación didáctica.

Una aplicación didáctica (AD) también llamada software educativo es un programa diseñado con la finalidad de facilitar los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Un software educativo es una herramienta pedagógica elaborada específicamente con esta finalidad. Los softwares educativos también son llamados plataformas educativas, programas o informática educativos. Los softwares educativos son herramientas cada vez más necesarias de ser contempladas e incorporadas en los sistemas educativos [1].

La asignatura de ingeniería de software debe ser abordada desde un enfoque teórico práctico, iniciando con la abstracción de la información del usuario final para elaborar el análisis de requerimientos del software a desarrollar hasta la obtención del documento de especificación de requisitos de software (ERS), el temario de la asignatura en la unidad 1 llamada análisis y en los subtemas 1.1 revisión de especificación de requisitos. 1.1.1 norma IEEE 830-1998 abarca precisamente el estándar [2].

Los requerimientos de software son el punto de partida para el desarrollo de un producto de software y se encuentran como parte de la ingeniería de software dedicada al estudio de la adquisición, análisis, especificación, validación y administración de los requerimientos o necesidades de un software. Es una fase fundamental para el desarrollo de software con calidad. Se entiende por calidad en un producto de software aquel que cumple con las necesidades del usuario. [3]

El análisis de requisitos se define como el proceso del estudio de las necesidades de los usuarios y clientes para llegar a una definición de los requisitos del sistema, hardware o software, así como el proceso de estudio y refinamiento de dichos requisitos; y es precisamente en este contexto donde el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), es una de las organizaciones líderes en la creación de estándares en el mundo, realiza estándares y uno de ellos es el estándar IEEE 830-1998 [4].

Las características deseables para una buena especificación de requisitos software que se indican en el estándar son las siguientes: correcta, no ambigua, completa, verificable, consistente, clasificada, modificable, explorable, utilizable durante las tareas de mantenimiento y uso [5].

Este estándar permite un análisis total sobre los requerimientos que debe tener las aplicaciones de software [6] y se encuentra en una plantilla, la cual se puede descargar desde el sitio oficial de la IEEE en un documento de word, es por esta razón que se propuso y se desarrolló el formato así como el contenido de las especificaciones de requerimientos de software del estándar IEEE 830-1998 de forma automatizada, es decir, se analizó, diseño, desarrollo y se desplegó la aplicación didáctica en la cual se puede ir definiendo y refinando el contenido de la plantilla en cada una de las secciones que abarca, a su vez se puede descargar en diferentes tipos de archivos (word, pdf) en el momento que los estudiantes, docentes, analista y/o el cliente lo requieran. En la AD los estudiantes que cursan la asignatura de ingeniería de software pueden trabajar de manera colaborativa.

La estructura de la ERS contiene los siguientes criterios [7] y son los mismos que se consideran en la AD desarrollada:

- **Caratula**
- **Índice**
- **Sección 1 Introducción**
 - 1.1 Propósito
 - 1.2 Ámbito del sistema
 - 1.3 Definiciones, acrónimos y abreviaturas
 - 1.4 Referencias
 - 1.5 Visión general del documento
- **Sección 2 Descripción general**
 - 2.1 Perspectiva del producto
 - 2.2 Funciones del producto
 - 2.3 Características de los usuarios
 - 2.4 Restricciones

- 2.5 Suposiciones y dependencias
- 2.6 Requisitos futuros
- **Sección 3 Requisitos específicos**
 - 3.1 Interfaces externas
 - 3.2 Funciones
 - 3.3 Requisitos de rendimiento
 - 3.4 Restricciones de diseño
 - 3.5 Atributos del diseño
 - 3.6 Otros requisitos
- **Sección 4 Apéndices**

Metodología

Las etapas que se llevaron a cabo se mencionan a continuación, además, se describe cada una de ellas en la creación y despliegue de la AD: diseño de la herramienta didáctica, desarrollo y despliegue.

Diseño de la herramienta didáctica

1.- Obtención de requerimientos

Los requerimientos especificados se plasmaron en un diagrama de casos de uso UML, parte de estos se muestra en la figura 1.

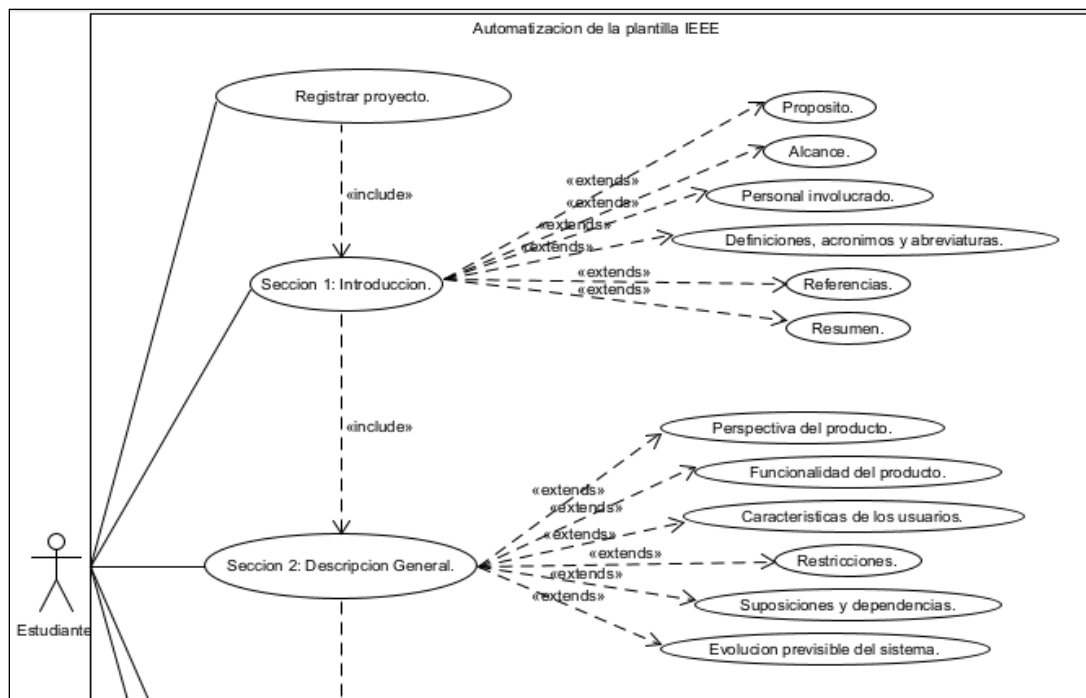


Figura 1. Diagrama de casos de uso.

2.- Diseño navegacional

Se organizó la aplicación teniendo en cuenta las tareas que el usuario-estudiante va a realizar en la aplicación didáctica, generando un diagrama jerárquico y esto se observa en la figura 2.

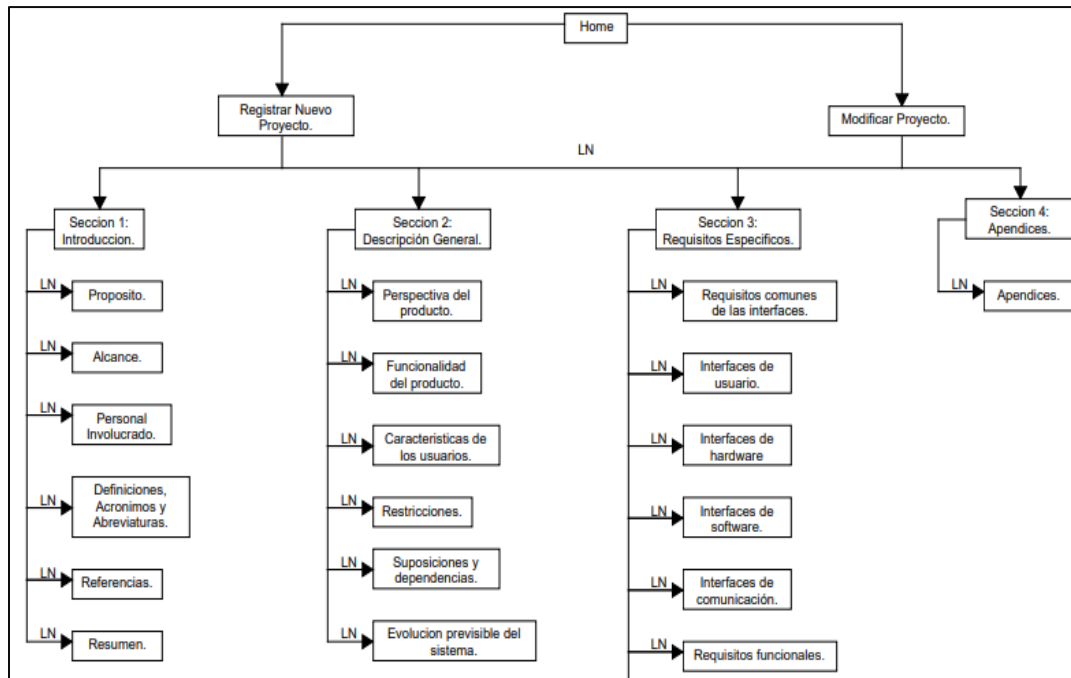


Figura 2. Diagrama jerárquico.

3.- Diseño de interfaz abstracta

Una vez especificada la estructura navegacional, se definieron los objetos de interfaz que va a percibir el usuario-estudiante. En la figura 3 se observa la ventana principal para un nuevo documento o la modificación de un documento existente.



Figura 3. Ventana principal.

El usuario-estudiante visualiza las secciones en que está organizada la AD a través de pestañas, en donde se puede registrar el proyecto, esto se evidencia en la figura 4.

Registrar Proyecto Sección 1 Sección 2 Sección 3 Sección 4

Nombre del proyecto:

Numero de revisión: Fecha:

Autores:

Nombre del verificador:

Nombre de la empresa:

Agregar logo

Siguiete

Figura 4. Ventana de registro de proyecto.

La figura 5 representa la interfaz abstracta de la pestaña Sección 1 y contiene los elementos de introducción y propósito.

Registrar Proyecto Sección 1 Sección 2 Sección 3 Sección 4

Parte 1 Parte 2 Parte 3 Parte 4

Introducción:

Proposito:

Regresar Siguiete

Figura 5. Ventana sección 1

Desarrollo

Como parte del desarrollo a continuación se presentan algunas de las interfaces del software de la aplicación, en la figura 6 se observa la sección 1 que se encuentra dividida en 4 partes, la primera parte consta de dos apartados que son la introducción y el propósito. Una vez que se completa esta sección de acuerdo con las necesidades del proyecto la información se guardará; de igual forma si se olvidó llenar el registro del proyecto se puede regresar y llenar el apartado que se haya olvidado esto se aplica para las 3 secciones siguientes.

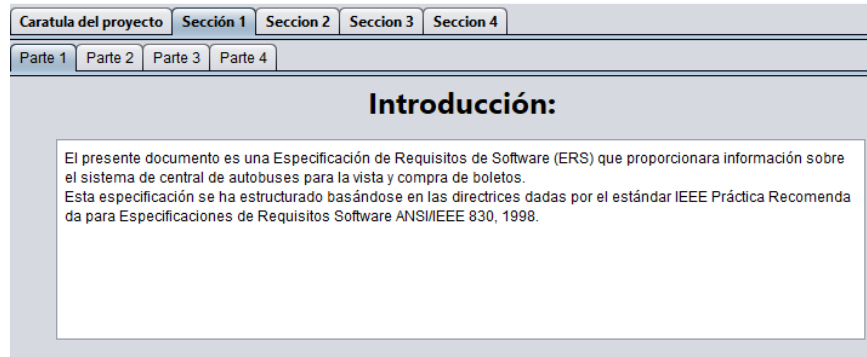


Figura 6. Ventana sección 1.

En la figura 7 se especifica y se edita la carátula del proyecto.

Figura 7. Ventana de carátula del proyecto.

Despliegue

Una vez desarrollada la aplicación se distribuyó por parte del docente para que mediante ella los estudiantes la utilizaran en los subtemas 1.1 revisión de especificación de requisitos y 1.1.1 norma IEEE 830, ellos realizaron la especificación de requisitos a través de la norma mediante el uso de la AD y una vez concluida la actividad en primera y segunda oportunidad respectivamente se evaluó el uso de la aplicación y la experiencia de 25 estudiantes inscritos en la asignatura. Lo anterior se logró aplicando un cuestionario de satisfacción, dado que el cuestionario es un medio útil y eficaz para recoger información fidedigna en un tiempo breve y está constituido por un conjunto de diferentes reactivos o ítems [8]. En la tabla 1 se muestra el cuestionario realizado y aplicado.

Tabla 1 Cuestionario

Asignatura: Ingeniería de software		Semestre: Enero-junio 2022
Por favor contesta el siguiente cuestionario		
Gracias por tu entusiasmo y participación		
1.- Contiene las 4 secciones del estándar IEEE 830-1998		
De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo
2.- estimula el aprendizaje autónomo		
De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo
3.- estimula el aprendizaje colaborativo		
De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo
4.- Simplifica el llenado de la plantilla		
De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo
5.- Simplifica la generación de la documentación		
De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo
6.- Considera que la utilización de la AD es una buena práctica en la generación de ERS		
De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo
7.- Recomendaría su uso		
De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo

Resultados y discusión

Una vez recolectada la información a través del cuestionario, se generó un gráfico el cual concentró las respuestas de los estudiantes, ver figura 8.

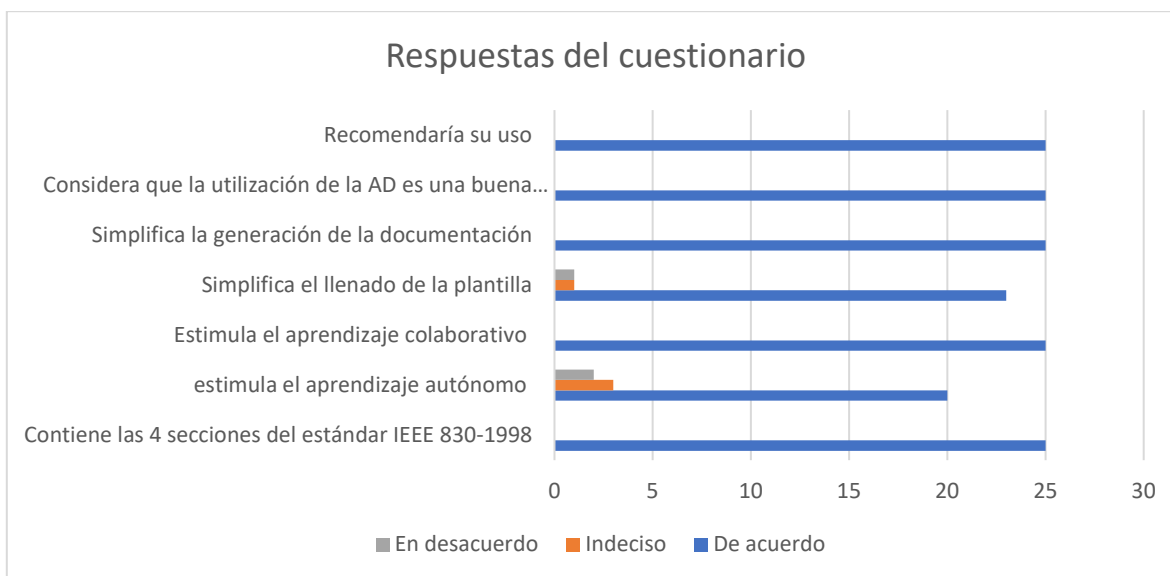


Figura 8. Resultados del cuestionario aplicado.

Fundamentándose en los resultados del cuestionario: 25 de los estudiantes recomiendan el uso de la AD, así como consideran que la utilización de la AD es una buena práctica en la generación de ERS, además, simplifica la generación de la documentación, estimula el aprendizaje colaborativo y contiene las 4 secciones del estándar IEEE. Mientras que 20 de ellos piensan que la AD estimula el aprendizaje colaborativo. Por otro lado, 23 estudiantes estiman que se simplifica el llenado de la plantilla.

Adicionalmente, el docente involucrado observó que la AD permitió monitorear el rendimiento de los equipos de trabajo, la adaptación de los estudiantes en la solución de problemas y toma de

decisiones; dado que estas habilidades son importantes para potencializar su desempeño profesional.

Trabajo a futuro

Sin duda, es necesario desarrollar una segunda versión de la aplicación didáctica migrándola a una aplicación enriquecida para internet que funcione en tabletas y teléfonos inteligentes para que los estudiantes tengan más alternativas en dispositivos electrónicos para la gestión de la plantilla IEEE 830, además de evaluar su uso y beneficios en la asignatura correspondiente.

Conclusiones

La obtención de requerimientos es una actividad cuyo propósito es definir con el cliente lo que hará el sistema informático [9].

La norma IEEE 830, es una de las normas o herramientas creadas en beneficio de la ERS, con el objetivo de facilitar los procesos de desarrollo de software [10], es un estándar que maneja diferentes directrices en un formato recomendado por los expertos, con el fin de obtener una mayor organización y claridad en la recopilación y desarrollo de los diferentes requerimientos de software, poniendo a disposición una especificación de requerimientos estable y robusta, para brindar una mejor comprensión y mayor información tanto a desarrolladores, coordinadores y administradores encargados de la generación e implementación de aplicaciones de software. Consiguiendo una mejor organización y administración de los procesos de desarrollo de aplicaciones informáticas [11]. La norma IEEE830, es configurable, sus estándares y plantillas se adaptan a diferentes empresas de desarrollo de software e instituciones educativas que imparten carreras o asignaturas que requieren la especificación de requerimientos [12].

Además, cuando una empresa o institución requiere un sistema de software específico y requiere garantizar la eficiencia y efectividad es necesario desarrollar un sistema personalizado a partir de la especificación de requerimientos, abarcar las necesidades del cliente, los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema a ser desarrollado y todo lo anterior se puede realizar utilizando la norma [13]. Donde estos elementos son fundamentales en la asignatura de ingeniería de software.

La innovación del proyecto consiste en contar con una aplicación didáctica donde se pueda ir definiendo y refinando el contenido de la plantilla estándar IEEE830-1998 en cada una de las cuatro secciones que abarca, a su vez se puede descargar los avances de la plantilla y la plantilla completa en diferentes tipos de archivos (word, pdf) en el momento en que los estudiantes, el docente o el cliente lo soliciten. La aplicación didáctica es gratuita y de distribución universitaria.

Los beneficios que se lograron al desarrollar y utilizar la AD fueron: estimular el aprendizaje personalizado y colaborativo en los estudiantes, simplificar el llenado y generación de la documentación del análisis de requisitos, ser de utilidad para que los estudiantes tengan una guía automatizada en el desarrollo de la buena práctica en la generación de ERS, logrando potencializar las habilidades de los estudiantes.

Referencias

[1] R. S. Puebla Molina. "Diseño de un software o aplicación didáctica para la verificación del desempeño de los refrigerantes en los sistemas de refrigeración", Tesis 2019. [Online]. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3641>

[2] Tecnológico Nacional de México, "Plan de Estudios, Ingeniería de software", Cd. de México, 2010 (Lineamiento del TecNM vigente).

[3] G. Ibarguengoitia G. and H. Oktaba. "Ingeniería de software pragmática", Facultad de ciencias de la UNAM, 2017.

- [4] G. M. Cagua Intriago. "Desarrollo de un sistema de mesa de ayuda para el control de incidencias del departamento de Tecnología de la ESPAM-MFL" (Bachelor's thesis, Tesis 2018. [Online]. Disponible en: <http://190.15.136.145/handle/42000/775>
- [5] J. Molina Rios and J. Honores, "Nociones de ingeniería de software", 2ª ed. UTMACH, 2017.
- [6] M. V. L. Pérez. "desarrollo e implementación del proceso de correspondencia y gestión documental con software libre utilizando la metodología uwe". Departamento de Ciencias de la Computación. Thesis 2017. [Online]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11004/1/T-ESPE-048984.pdf>
- [7] C.T.R. Barajas. "Impacto de los requerimientos en la calidad de software". Tecnología Investigación y Academia, vol. 5, no 2, pp. 161-173, 2017.
- [8] J. C. Jiménez, J.G. Sánchez, and F. G. Aguilar, Guía técnica para la construcción de cuestionarios. Odisea Revista electrónica de pedagogía, 2018.
- [9] M. G. Piattini Velthuis. "Calidad de Sistemas de Información. 4ª edición ampliada y actualizada", Grupo Editorial RA-MA, 2017.
- [10] W. Bentley. "Análisis de sistemas diseño y métodos", 9ma. Edición, McGraw Hill, 2017.
- [11] M. E. G. Graus. "Escala estadística y software para evaluar coherencia didáctica en procesos de enseñanza-aprendizaje de Matemáticas". Didáctica y Educación, vol. 11 no.1, pp.140-165. 2020.
- [12] J. P. Morales Maldonado. "Sistema informático para la captación de requerimientos para el desarrollo de aplicaciones en Farmaenlace Cía. Ltda., basada en el estándar IEEE 830-1998, Modelo RMM, modelo CMMI-DEV," B.S. Thesis 2018. [Online]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7801>
- [13] H. P. Putro. "Komparasi Kualitas Standar Dokumen Software Requirement Specification (SRS): MIL-STD-498 Dan IEEE 830-1998" 2018. [Online]. Disponible en: <https://dspace.uin.ac.id/handle/123456789/7807>

Impacto del diagnóstico de capacitación en docentes de IGE TecNM-Tecnológico de Orizaba.

J. L. Bolaños Reynoso^{1*}, M. E. Zepahua Neri¹, E. Bolaños Reynoso¹, A. Aguilar Aquino¹, M. Bolaños Rivera¹, ¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9 No. 852, Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Veracruz, México.

[*Jose.br@orizaba.tecnm.mx](mailto:Jose.br@orizaba.tecnm.mx)

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

Este trabajo de investigación presenta los resultados de realizar un diagnóstico de necesidades de capacitación en la Academia de Ciencias Económico Administrativas que atiende la licenciatura de Ingeniería en Gestión Empresarial del TecNM-Tecnológico de Orizaba, este trabajo se realizó de manera formal, la investigación utilizó un modelo no experimental con muestreo probabilístico que analizó de los integrantes de la Academia participante: la clasificación de grados académicos por disciplinas de conocimiento, análisis del nivel de autopercepción de conocimiento, temas de conocimiento y experiencia hasta llegar a los temas en que se demanda capacitación y/o actualización trayendo con ello el beneficio para el programa de capacitación del siguiente ciclo académico 2023 acorde a los perfiles que demanda la Ingeniería en Gestión Empresarial, trayendo con ello la optimización de recursos y tiempos para la Academia, los estudiantes y por ende para la institución.

Palabras clave: Gestión, Academia, Docentes, Diagnóstico.

Abstract

This research work presents the results of carrying out a diagnosis of training needs in the Academy of Administrative Economic Sciences that attends the Business Management Engineering degree of the TecNM-Tecnológico de Orizaba, this work was carried out in a formal way, the investigation used a non-experimental model with probabilistic sampling that analyzed the members of the participating Academy: the classification of academic degrees by disciplines of knowledge, analysis of the level of self-perception of knowledge, topics of knowledge and experience until reaching the topics in which training and /or update, bringing with it the benefit for the training program of the following academic cycle 2023 according to the profiles demanded by Engineering in Business Management, bringing with it the optimization of resources and time for the Academy, the students and therefore for the institution.

Key words: Management, Academy, Teachers, Diagnosis.

Introducción

Los primeros Institutos Tecnológicos que iniciaron el Tecnológico Nacional de México surgieron en 1948, cuando se crearon los de Durango y Chihuahua. Poco tiempo después se fundaron los de Saltillo (1951) y Ciudad Madero (1954). Hacia 1955, estos primeros cuatro Tecnológicos atendían una población escolar de 1,795 alumnos, de los cuales 1,688 eran hombres y sólo 107 mujeres. En 1957 inició operaciones el IT de Orizaba. En 1959, los Institutos Tecnológicos son desincorporados del Instituto Politécnico Nacional, para depender, por medio de la Dirección General de Enseñanzas Tecnológicas Industriales y Comerciales, directamente de la Secretaría de Educación Pública [1].

Actualmente el Tecnológico Nacional de México, por sus siglas TecNM se compone del siguiente grupo de instituciones:

- 254 instituciones, de las cuales 126 son Institutos Tecnológicos Federales, 122 Institutos Tecnológicos Descentralizados,
- Cuatro Centros Regionales de Optimización y Desarrollo de Equipo (CRODE),
- Un Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica (CIIDET) y
- Un Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET).
- La Población estudiantil que atiende el TecNM es de más de 600 mil estudiantes en licenciatura y posgrado en todo el territorio nacional.

El TecNM- Tecnológico de Orizaba es uno de los 126 institutos Federales que componen al Tecnológico Nacional de México (TecNM) y como se puede observar en la Figura 1 el TecNM-Tecnológico de Orizaba se encuentra ubicado en el estado de Veracruz. [2]

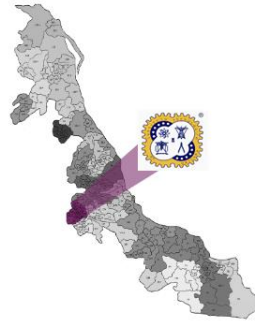


Figura 1. Ubicación del TecNM-Tecnológico de Orizaba (modificación propia).

Una de las carreras que se componen la oferta educativa de siete ingenierías del TecNM- Tecnológico de Orizaba a nivel licenciatura es la Ingeniería en Gestión Empresarial, la cual nació en agosto 2008 [3] teniendo en su mayoría como docentes a los maestros y maestras que conformaban en ese entonces al departamento de Ciencias Económico Administrativas del TecNM-Tecnológico de Orizaba, ya que se estipuló desde el nacimiento de esta licenciatura que no era factible la contratación de nuevos docentes para el desarrollo de esta nueva licenciatura; lo que ocasionó desde ese momento la necesidad de actualización de los docentes de manera continua para poder hacer frente a las necesidades de del cliente externo que es el mercado laboral .

En la Figura 2 se presenta el logotipo de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial del TecNM-Tecnológico de Orizaba, la cual es la licenciatura más joven que tiene esta casa de estudios [4].



Figura 2. Logotipo de la carrera de IGE [4].

Esto ha traído como consecuencia que el trabajo que se desarrolla en la academia del Departamento de Ciencias Económico Administrativas por sus siglas DCEA, en particular tenga un papel relevante, cual se define y caracteriza como “un órgano colegiado que integra jefe(a) de departamento Académico, profesores(as) y profesores(as)-investigadores(as) que atienden los diferentes niveles educativos y que realiza actividades de docencia, investigación, vinculación y gestión académica. Las Academias tienen la función de proponer y desarrollar proyectos en los ámbitos de docencia, investigación y gestión académica” [5].

Siguiendo con lo enunciado en la definición de lo que es una academia, en el departamento de Ciencias Económico Administrativas se ha tenido en el presente año 2022 cambio en la presidencia de la misma, motivo por el cual se iniciaron las actividades realizando un diagnóstico de necesidades, que según su definición más simple es “ Que sirve para reconocer” [6] , el cual es el motivo de este trabajo de investigación, pero sobre todo al impacto que tiene para el desarrollo actual y futuro de los planes de capacitación de la Academia de DCEA de esta casa de estudios.

La academia de DCEA del TecNM-Tecnológico de Orizaba se compone actualmente de los siguientes integrantes según se muestra en la Tabla 1 según datos del departamento de Ciencias Económico Administrativas obtenidos en entrevista con el jefe del ese departamento [7]:

Tabla 1. Integrantes de la Academia DCEA.

Docentes	Cantidad
Docentes de tiempo completo	21
Docentes con horas, medio tiempo, tres cuartos de tiempo y técnicos docentes	13
Gran Total	34

Lo que se planea entonces es el poder realizar un estudio diagnóstico de necesidades de capacitación y analizar el impacto que tiene éste en el trabajo a desarrollar en la Academia.

Metodología

Diseño de la investigación

La investigación utilizó un modelo no experimental con muestreo probabilístico, considerando los datos adquiridos únicamente de las respuestas de los docentes del Departamento de Ciencias Económico Administrativas (DCEA) que al igual imparten cátedra a la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial (IGE); sin modificar ninguna variable; para lo cual se utilizó como instrumento de recolección el cuestionario o encuesta. Así mismo, el enfoque en el procesamiento de los datos obtenidos es cuantitativo y cualitativo dada la naturaleza y objetivo de la investigación realizada.

Al inicio del cuestionario se da el encuadre de la investigación; al igual se recolecta información para conocer la composición de la muestra en cuanto al grado de estudio que tiene el sujeto encuestado. Posterior a lo anterior, el instrumento consta de 4 secciones con mismo número de enfoques; el primero es con la finalidad de conocer el nivel de satisfacción y dominio de los contenidos, en relación a las materias asignadas en los 2 últimos semestres (enero-junio 2021 y agosto diciembre 2021), el segundo enfoque permite conocer los temas en los que el docente tiene un grado de *expertise* significativo, la tercera sección revela los temas en los que el profesor requiere capacitación; finalmente la última sección recolecta las preferencias en cuanto a los tópicos que el encuestado percibe que deben ser impartidos a los alumnos.

Diseño de la muestra y recolección de información.

El tamaño de la muestra se obtuvo del universo conformado por los profesores que integran la Academia de CEA y que al igual imparten cátedra en la carrera de IGE. Como elementos excluyentes no se consideraron a los docentes que cubrieron interinatos o que no están adscriptos de forma definitiva en la academia mencionada, así como aquellos que estaban asignados en actividades administrativas o con licencias laborales en los periodos que considera la presente investigación. La Tabla 1 referida en párrafos anteriores muestra el universo de la academia de CEAS durante el periodo de estudio [7].

Por lo consiguiente, para el cálculo del tamaño de la muestra se determinó que es una población finita (menor a 500,000 elementos) y se consideró un coeficiente de confianza del 95%, una probabilidad de aceptación del 85% y de rechazo del 15%, un error de estimación del 5% y un universo de 34 docentes. Para obtener el tamaño de la muestra se utilizó la Ec.1 [8]:

$$n = \frac{\sigma^2 N p q}{e^2 (N-1) + \sigma^2 p q} \quad (1)$$

La muestra fue de 29 personas; para obtener la información de los docentes seleccionados para contestar el instrumento de recolección de datos, se utilizó como medio de aplicación y respuesta el correo electrónico, seleccionando los correos de los docentes a encuestar de forma aleatoria. El cuestionario está conformado por una etapa de introducción con la finalidad de conocer el grado de estudios del docente, posteriormente la primera sección está conformada por 6 afirmaciones con escala de medición de Likert de 5 puntos, la cual permitió que el encuestado calificara su actitud y experiencia con respecto a las materias asignadas e impartidas, así como su dominio en los temas con que están conformadas. En la segunda y tercera parte del cuestionario se utilizó el formato de pregunta abierta pero limitativa a 3 y 5 respuestas respectivamente;

solicitando al encuestado proporcionara 3 temas académicos en los cuales tiene un grado significativo de dominio, ya sea por su perfil académico o por su experiencia profesional; de igual manera se le pidieron 5 temas en los cuales desea recibir capacitación y/o actualización. En la última etapa se presentó una tabla con opción múltiple y que de acuerdo a la percepción del docente encuestado considera los temas que deben impartírsele a los alumnos de la carrera de IGE. Para el análisis de los datos obtenidos en la encuesta se utilizó la distribución de frecuencias como procedimiento no paramétrico.

Resultados y discusión

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la etapa preliminar de la encuesta en cuanto al grado de estudio de los docentes que participaron en la investigación. Como se puede observar predomina el nivel de licenciatura con un 52%, pero al igual se evidencia un porcentaje significativo del 36% de docentes con grado de maestría y con un porcentaje del 12% aquellos con grado de doctorado; siendo estos dos últimos el área de oportunidad para los docentes de la Academia de CEA y de la carrera de IGE.

Tabla 2. Grados académicos.

Licenciatura	Maestría	Doctorado
52.0%	36.0%	12.0%

En la Tabla 3 se presenta un análisis en cuanto a dos enfoques principalmente; en los cuales se pueden clasificar los diferentes grados académicos de los docentes encuestados; con respecto a Ciencias Administrativas y a Ciencias de la Ingeniería según correspondan; así mismo, se presenta un grupo más correspondientes a otras disciplinas. El grado académico más significativo en Ciencias Administrativas con un porcentaje del 36% es el de licenciatura, así mismo hay presencia de docentes en los otros grados académicos con 8% y 4% para maestría y doctorado respectivamente. En cuanto a Ciencias de la Ingeniería el grado de maestría tiene un porcentaje del 20%, lo que evidencia una alineación por parte de los encuestados para perfilarse a un área ingenieril que cubra los requerimientos del programa educativo de IGE. En cuanto al rubro que agrupa otras áreas de conocimiento que al igual son necesarias para cubrir el programa educativo mencionado, está conformado por profesores con diferentes grados académicos. Aunado a lo anterior se desprende un análisis complementario en cuando a los totales de cada columna y fila; la mezcla de los grados académicos y el área de conocimiento a la que pertenecen los docentes adscritos a la Academia de CEAS-IGE denotan una composición que sustenta el objetivo de la presente investigación.

Tabla 3. Clasificación de grados académicos por disciplinas de conocimiento.

	Ciencias Administrativas	Ciencias de la ingeniería	Otras áreas	Total
Licenciatura	36.0%	12.0%	4.0%	52.0%
Maestría	8.0%	20.0%	8.0%	36.0%
Doctorado	4.0%	0.0%	8.0%	12.0%
Total	48.0%	32.0%	20.0%	100.0%

En la Figura 3 se observa la calificación que asignan los encuestados en referencia a la satisfacción por las materias que impartieron en los semestres considerados para la presente investigación. Conforme a los parámetros y características de la escala de la escala Likert se observa un grado con tendencia positiva totalizando 92.8%. Lo que significa que esta parte de la muestra se siente afable al impartir la catedra de las materias que le fueron asignadas. Mas adelante se complementa este resultado con lo que se muestra en la Figura 8.

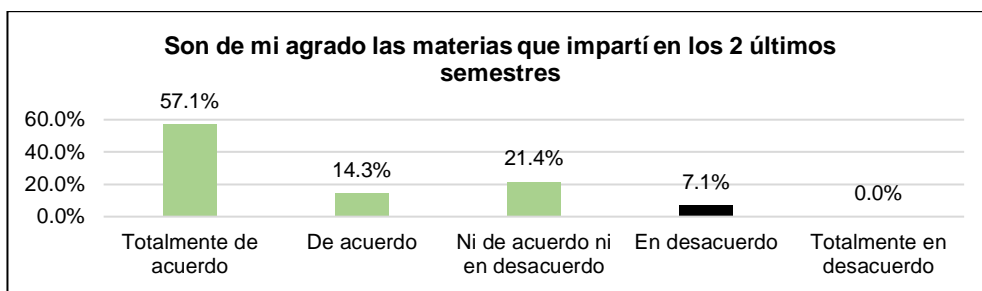


Figura 3. Percepción de las materias asignadas.

Se puede observar en la Figura 4 que el 92.8% de los docentes encuestados tienen la capacitación necesaria para impartir materias diferentes a las que se les asignaron en los semestres objetos de este estudio. De manera poco significativa el 7.2% refleja no estar en condiciones para impartir catedra diferente de las materias que se le asignan.

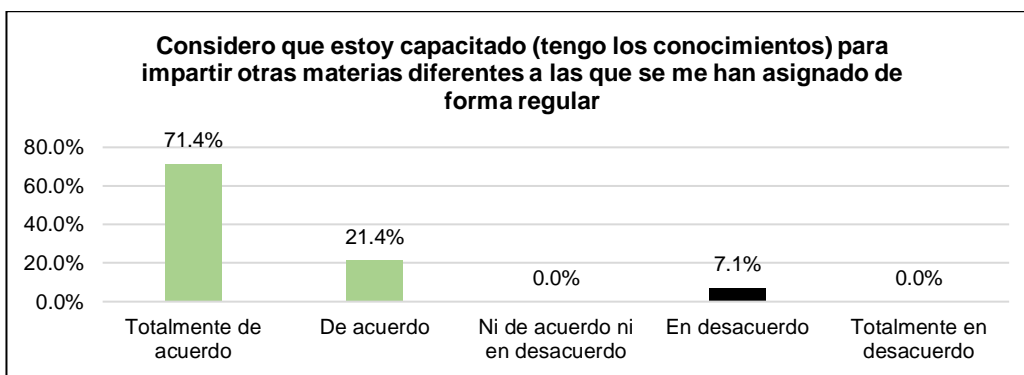


Figura 4. Autopercepción de conocimientos.

En la siguiente pregunta (Figura 5) existe una calificación positiva del 100% conforme a los criterios de la escala de medición Likert. Lo que indica que los docentes encuestados consideran que es necesario realizar las actividades de actualización de los temas de las materias que imparte. Por lo que ante estos resultados se justifica el objetivo de la presente investigación y que sustentara propuestas de estrategias para capacitar y actualizar al docente en las materias que imparte o en temas específicos.

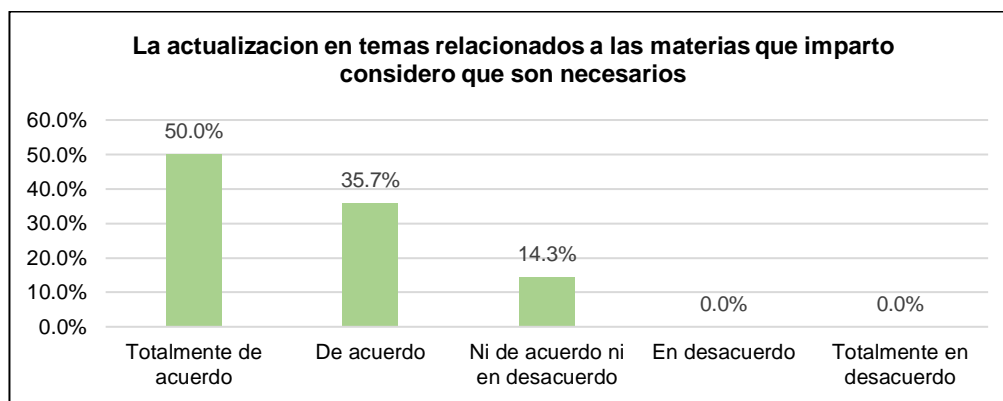


Figura 5. Requerimiento de actualización docente.

Continuando con el análisis de los resultados, en la Figura 6 se observa que el 42.9% de los encuestados está de acuerdo en que existen temas del programa de la materia que imparte que desconoce, así mismo, el 21.4% esta con una posición neutral ante este cuestionamiento, pero obedeciendo a los parámetros de la escala Likert se sumaría al porcentaje anterior. Es importante percibir que la afirmación a calificar complementa y corrobora los resultados que se muestran en la Figura No. 3. El 35.7% de los encuestados considera que no hay desconocimiento de temas en las materias que se le han asignado.

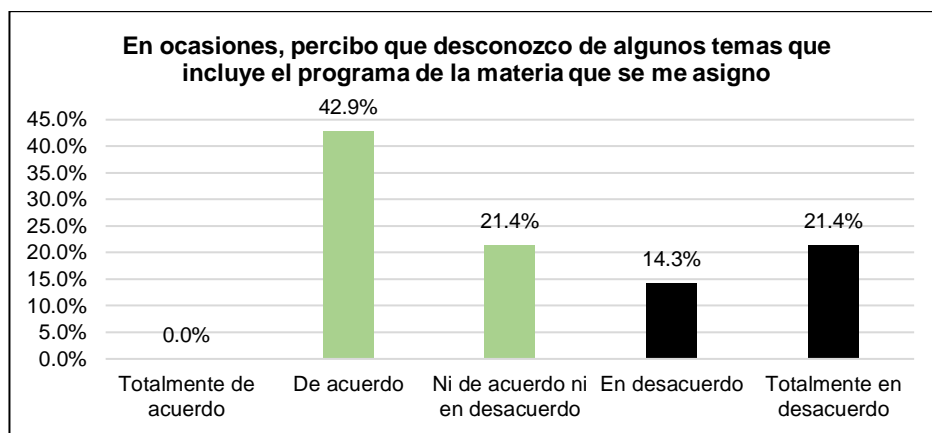


Figura 6. Desconocimiento de temas en materias asignadas.

En la Figura 7 se describe de forma muy específica cuando el docente considera que se le ha asignado alguna materia que no es acorde a su perfil académico o en determinado momento no tiene los conocimientos necesarios para impartir la cátedra de dicha asignatura. Se evidencia a través del planteamiento de la variable a calificar que está se encuentra en sentido negativo y en donde el 64.3% de los docentes encuestados afirman que si cuenta con el perfil y/o conocimientos necesarios para impartir las materias que se le han asignado en el periodo especificado para el estudio. Además, el 21.4% y conforme a lo ya explicado en párrafos anteriores de la escala Likert sumaría al porcentaje anterior.

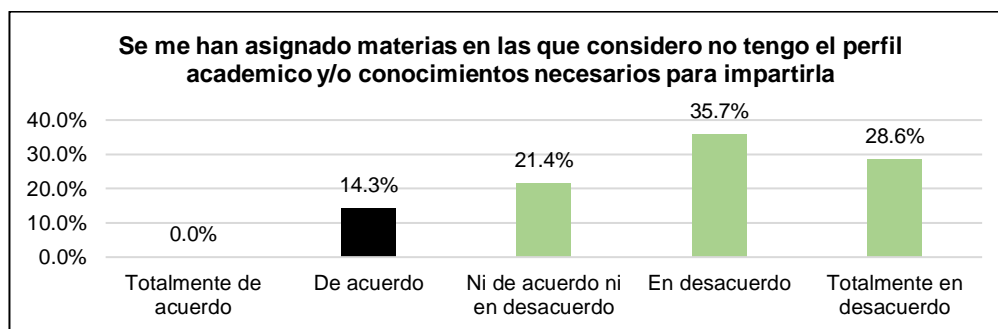


Figura 7. Perfil académico no acorde a las materias asignadas.

Finalizando esta primera sección de los resultados del instrumento de recolección, en la Figura 8 se observa que el 78.5% de los encuestados califica la afirmación de forma positiva en referencia a que en las materias que le han sido asignadas percibe tener el perfil y/o conocimientos para impartir la cátedra correspondiente. En este sentido, se evidencia y corroboran los resultados obtenidos que se muestran la Figura No. 5.

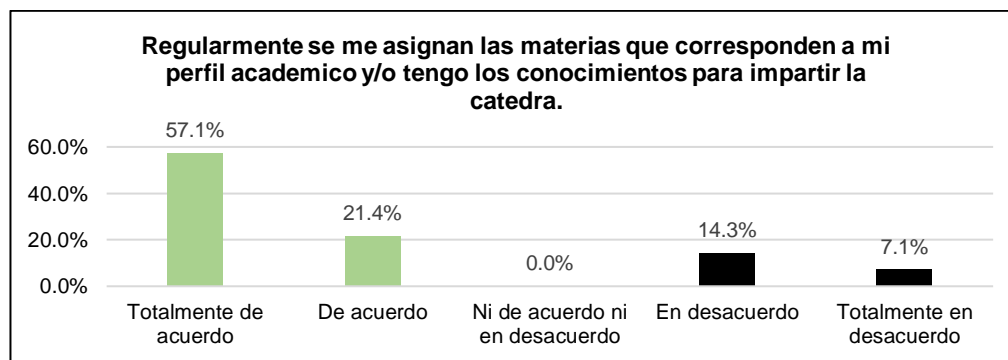


Figura 8. Materias asignadas acorde al perfil académico.

En la segunda sección del cuestionario se le solicito al docente encuestado indicará 3 temas en los que él tiene un grado significativo de conocimiento, en base a su experiencia profesional o perfil académico. Los resultados se agruparon conforme a la afinidad y naturaleza de los mismos como se muestran en la Tabla 4. Estos tópicos

representan el potencial de la Academia de CEAS-IGE para la conformación y desarrollo de cursos, talleres o ponencias; pudiendo ser a nivel académico o profesional.

Tabla 4. Temas en los que se tiene conocimiento y experiencia.

Administración y Contabilidad	Emprendimiento	Investigación	Otros
Administración general	Dirección de proyectos	Herramientas intelectuales	Desarrollo humano
Contabilidad general, de costos, financiera	Franquicias	Mediciones y escalas	Gestion de capital humano
Habilidades directivas	Innovación tecnológica	Taller de investigación	Higiene y seguridad
Ingeniería económica	Propiedad intelectual	Protocolos de investigación	Sistemas de gestion de calidad
Planeación estratégica	Gestion financiera	Variables blandas	Sistema bancario
Proceso administrativo	Mercadotecnia		Higiene y seguridad ocupacional
Recursos humanos	Cadena de suministros		Teorías motivacionales

Con respecto a los resultados de la tercera sección del cuestionario en relación a los temas que solicitan los docentes encuestados para recibir capacitación y/o actualización de los mismos; se pueden apreciar en la Tabla 5. En la cual se agrupan conforme al área de conocimiento a la que pertenecen. Estos tópicos pueden aportar la base para el desarrollo de la planeación de los programas de actualización docente para la Academia de CEAS-IGE.

Tabla 5. Temas en los que se demanda capacitación y/o actualización.

Económico Administrativas	Calidad	Educación	Emprendimiento	Ingeniería	Tecnología
Administracion de pasivos	Business Model Canvas	Manejo del lenguaje	Emprendedurismo	Gestion de la Producción	Apps de inversión
Herramientas para toma de decisiones	Certificación de procesos	Diseño de material didáctico	Evaluación de Proyectos	Gestion del tiempo y productividad	NFT (Non Fungible Token - Blockchain)
Buro de crédito	Certificación NOM-035-STPS-2018	Educación emocional en la empresa	Liderazgo	Seguridad e Higiene industrial	Peer to peer (P2P) Market Place
Código Fiscal	Certificación de auditor ISO-9001	Gestion de conflictos en el aula	Mercadotecnia	Six Sigma	Simulador de negocios
Contabilidad de sociedades	Estadística descriptiva e inferencial	Habilidades Blandas	Modelo de Innova TecNM		Software estadístico para la investigación
Diseño organizacional		Imagen del docente	Modelos de comercialización		
Economía Financiera		Primeros auxilios en aula	Negocios y redes sociales		
Ingeniería económica		Programación Neurolingüística	Neuromarketing		
Mercado de valores		Tutorías	Plan de negocios		

Económico Administrativas	Calidad	Educación	Emprendimiento	Ingeniería	Tecnología
Trámites ante el SAT			Legislación laboral		

Continuación de la Tabla 5.

Los resultados de la cuarta sección del cuestionario se presentan en la Figura 9; la cual muestra los temas académicos que los docentes encuestados consideran deberían ser incluidos en los temarios de las materias que corresponda, y que son impartidas por los profesores de la Academia de CEAS-IGE. Para lo cual esto pudiera realizarse en las actualizaciones institucionales de programas educativos o bien, que en diferentes eventos académicos se imparten los cursos, talleres o conferencias de los tópicos que se presentan a continuación.

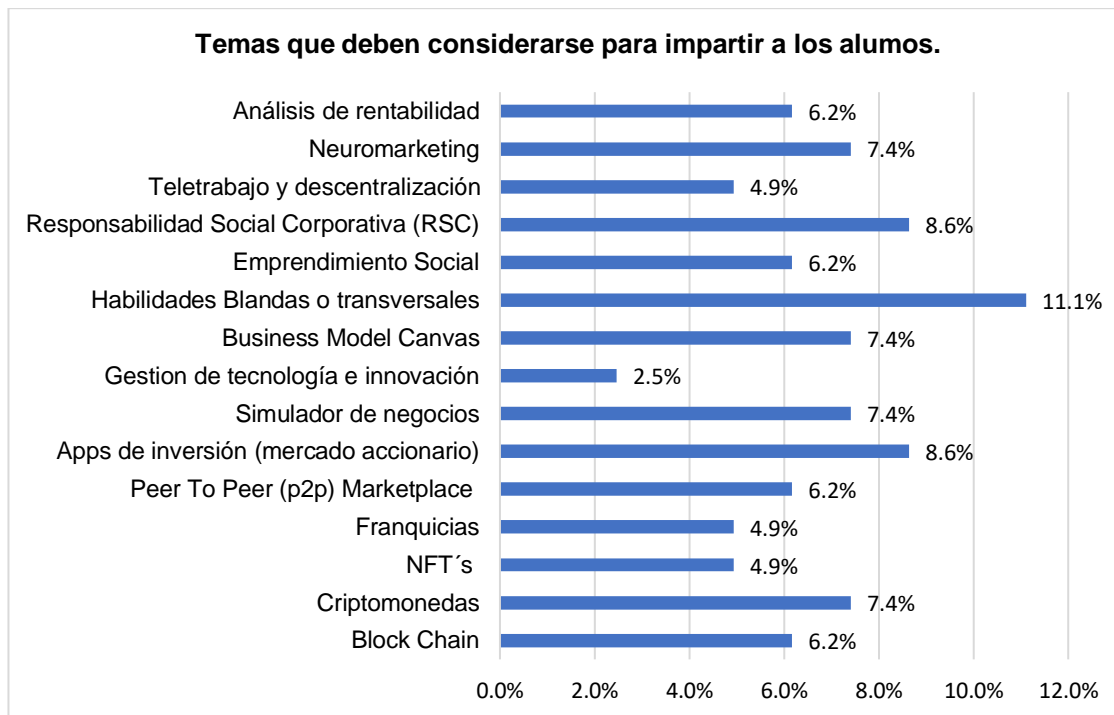


Figura 9. Temas propuestos por el docente.

Trabajo a futuro

La presente investigación sienta las bases para el desarrollo de otros trabajos derivativos, en primer lugar, este estudio pudiera realizarse de forma longitudinal y escalarse a nivel institucional con fines de fortalecer el programa de actualización docente. En segundo término, se pueden realizar investigaciones para medir el impacto de los resultados derivados de las estrategias que se llegasen a implementar con respecto a capacitación y/o actualización de los docentes en los tópicos que se demandan. Así mismo, es factible aprovechar los conocimientos de los docentes en los temas que se tienen experiencia, ya sea para con la misma academia a través de los programas de actualización docente del Instituto o integrándolos en un catálogo de servicios de capacitación para otras academias o de forma externa al sector empresarial.

Conclusiones

La capacitación es el medio a través del que se pueden obtener conocimientos de forma específica ya sea de carácter teórico o práctico. Pero el saber qué es lo que realmente requiere una organización pública o privada, es donde surge la problemática que se debe resolver antes de implementar cualquier programa de capacitación o actualización. Es por ello que el diagnóstico que se realizó en el DCEA para la carrera de IGE, permitió conocer

en una primera etapa la composición de la academia en cuanto perfiles académicos, así mismo el enfoque de los grados académicos de los docentes objeto del estudio. Un factor importante para lograr un proceso de enseñanza-aprendizaje efectivo, guarda una relación estrecha con el grado de conocimiento que el docente tenga en las materias que se le asignan de forma regular; para el caso del DCEA se realiza una asignación que en su mayoría es acorde al perfil y grado de conocimiento del docente. Así mismo, existe una fortaleza dentro del departamento en cuanto a docentes que tienen un nivel de dominio en diferentes tópicos académicos, mismos que serán la base para el diseño del programa de capacitación y actualización docente del departamento para el año 2023. Complementando lo anterior, hay un área de oportunidad sobre temas que demandan los docentes en cuanto a la obtención de nuevos conocimientos o actualización de los mismos; los cuales pueden ser impartidos por profesores del departamento o externos que coadyuven a subsanar la demanda de dichos tópicos. Así mismo, es factible considerar como estrategia de autocapcitación la continuidad de estudios a nivel maestría y doctorado, o en su caso especialidades o diplomados, para los docentes que aún no cuenten con dicho grado académico o requieran un conocimiento específico; mismos que se recomendará sean acordes a los perfiles que solicitan las materias del plan de estudios. La vinculación con el sector empresarial pudiera darse a través de estancias académicas, realizadas por aquellos docentes que opten por este modelo como una estrategia de capacitación y actualización de conocimientos, así como la adquisición de experiencia profesional susceptible de compartirse con los alumnos de la carrera de IGE. La interacción cotidiana con los alumnos es sin duda una fuente de información, sobre inquietudes e incluso curiosidad relacionada con la obtención de conocimientos en temas académicos o tecnológicos de actualidad; por lo que los profesores llegan a ser catalizadores de esas inquietudes y entonces corresponde al DCEA dar respuesta a través del diseño de cursos, talleres o conferencias.

Agradecimientos

El equipo que realizó este trabajo está muy agradecido con todos los integrantes de la academia de Ciencias Económico Administrativas por su apoyo en la realización de este trabajo, así mismo por la oportunidad de poderlo difundir y dejar constancia del impacto que puede tener un estudio diagnóstico de necesidades para toda una Academia.

Referencias

- [1] TecNM, «Historia del TecNM,» 22 07 2022. [En línea]. Available: <https://www.tecnm.mx/?vista=Historia>. [Último acceso: 05 agosto 2022].
- [2] IVEA, «IVEA ORIZABA,» IVEA, [En línea]. Available: <http://www.ivea.gob.mx/orizaba/>. [Último acceso: 05 08 2022].
- [3] M. S. Loredó Romero, Interviewee, Ingeniería en Gestión Empresarial. [Entrevista]. 10 11 2020.
- [4] DEPTO. CEAS, «LOGOTIPO IGE,» ORIZABA, 2018.
- [5] TecNM, «Manual de Lineamientos Académicos-Administrativos del TecNM,» TecNM, CDMX, 2020.
- [6] GOOGLE, «GOOGLE,» GOOGLE, 2022 [En línea]. Available: https://www.google.com/search?q=diagn%C3%B3stico+&rlz=1C1VDKB_esMX931MX931&sxsrf=ALicZsb4IleUHm0DFQdDH0IPu9ZHDH81Vg%3A1660086695748&ei=p-nyYq2eLdvYkPIpNvKU-AI&ved=0ahUKEwtja_u8Lr5AhVbLEQIHR45BS8Q4dUDCA4&uact=5&oq=diagn%C3%B3stico+&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAMy. [Último acceso: 5 Agosto 2022].
- [7] R. Rosales Barrales, Interviewee, Entrevista. [Entrevista]. 2 Agosto 2022.
- [8] J. L. E. a. Bolaños Reynoso, «Análisis del Registro de Signos Distintivos de las MIPyME´s de la Región Centro del Estado de Veracruz ante el IMPI,» Coloquio de Investigación Multidisciplinaria, vol. 2, nº 1, pp. 132 - 139, 2014.

Diseño experimental de un arreglo fotovoltaico didáctico reconfigurable

M. A. Zúñiga Reyes^{1*}, C. O. Llaven Gallegos², A. L. de J. López Pérez³, C. A. de Coss Cruz⁴, J. Resnick Freyre⁵

¹Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Chiapas; y Tecnológico Nacional de México, plantel Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

²Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Chiapas

³Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Chiapas

⁴Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Chiapas

⁵Fundación Educativa Monte Líbano, Colombia

*mzuniga@cecytech.edu.mx

Área de participación: Investigación educativa

Resumen

Las energías renovables se han convertido en una opción en la producción de energía eléctrica. Aunque existen diversas opciones de generación de electricidad, es la energía fotovoltaica la que más se ha utilizado para instalaciones de baja escala. Por lo tanto, se ha hecho necesaria la capacitación de personal que se verá involucrado en la instalación y el mantenimiento de estos proyectos. Dentro de las necesidades de capacitación, están las correspondientes al análisis de la configuración eléctrica del arreglo fotovoltaico. Aunque existe equipo especializado para ejecutar esta actividad, son demasiado costosos cuando se desea utilizarlos en el proceso de entrenamiento. Por lo tanto, el presente trabajo tiene por objetivo el desarrollo de un sistema que permita obtener un arreglo fotovoltaico con fines didácticos.

Palabras clave: Fotovoltaica, Arreglo, Circuito abierto, Corto circuito.

Abstract

Renewable energies have become an option in the production of electrical energy. Although there are various options for electricity generation, photovoltaic energy is the one that has been used the most for small-scale installations. Therefore, training personnel that will be involved in the installation and maintenance of these projects has become necessary. Within the training needs, there are those corresponding to the analysis of the electrical configuration of the photovoltaic array. Although specialized equipment exists to perform this activity, it is too expensive to use in training. Therefore, this work aims to develop a system that allows obtaining a photovoltaic array for educational purposes.

Key words: Photovoltaic, Array, Open circuit, Short circuit.

Introducción

El área de las energías renovables está creciendo año tras año, no cabe duda de que su uso es cada vez más notorio en aplicaciones tanto de baja como alta escala. Diversos conceptos específicos para esta área han empezado a salir de los laboratorios y empresas, dando paso a conocimiento que debe ser comprendido por personal técnico especializado. Entendiéndose como personal especializado, aquéllos que se encargarán de la instalación, operación, y mantenimiento de los sistemas energéticos renovables a utilizar.

Por otra parte, la producción de energía eléctrica por medio de generadores fotovoltaicos (GFV) se ha convertido en la opción comercial más accesible para el usuario final. Esto último se debe a la posibilidad de llevar a cabo la instalación de este tipo de generadores desde escalas pequeñas (menores a 5 kW) hasta grandes generadores (en la escala de Mega Watts). Por lo tanto, la secuencia: diseño, instalación, y mantenimiento de un generador fotovoltaico será desarrollado por diferentes personas. Sin embargo, la instalación y mantenimiento normalmente se realiza por personal técnico especializado, el cual necesita comprender algunos aspectos básicos de funcionamiento de un GFV.

Dentro de los conceptos básicos que un técnico debe apropiarse están los que se refieren a la configuración eléctrica del GFV. En este sentido, una forma de comprobar el funcionamiento de un GFV es mediante el análisis de la curva I-V o de la curva P-V. Es mediante estas curvas de desempeño donde se determina si un GFV presenta algún tipo de condición anómala, o se encuentra funcionando correctamente. Existen dispositivos comerciales que permiten obtener este tipo de curvas de desempeño [1], sin embargo, su costo es demasiado alto [2]. Además, se han desarrollado diversos mecanismos para obtener la curva I-V de MFV con fines demostrativos [3]. Dentro de las diversas técnicas se encuentran las que utilizan resistores variables [4], aunque el uso de estos dispositivos es sencillo, presentan el inconveniente de ser dispositivos mecánicos, lo cual provoca diversas variaciones entre una y otra medición

Otra forma de obtener la curva I-V es por medio de la carga y descarga de un capacitor [5], aunque este mecanismo es sencillo [6], [7], su uso implica el desarrollo de un sistema de control cuya sincronización permita la carga y descarga del capacitor de forma adecuada [8], [9]. También existen dispositivos semiconductores usados como cargas electrónicas [10], los cuales son controlados por corriente o voltaje, dependiendo del tipo de carga electrónica a utilizar. Este tipo de cargas, tienen la ventaja de ser de fácil uso y únicamente se debe dedicar tiempo para diseñar el sistema de control adecuado para el dispositivo. Normalmente, este tipo de soluciones utilizan un transistor de unión bipolar (BJT) o un transistor bipolar de compuerta aislada (IGBT) [11].

Las diversas opciones antes mencionadas cumplen con el objetivo de obtener la curva I-V, sin embargo, no les es relevante la estructura del arreglo fotovoltaico. Es decir, se lleva a cabo el análisis de desempeño en el periodo de aprovechamiento del AFV, no siendo de interés el proceso de capacitación del personal involucrado en la instalación.

Sin embargo, para las instituciones educativas que contemplan la capacitación de personal técnico, el proceso de apropiación de conceptos y prácticas seguras se vuelve relevante. En este sentido, para las instituciones dependientes de la Dirección General de Educación Tecnológica Industrial (DGETI), que ofrecen la Carrera de Fuentes Alternas de Energía [12], tienen diversas competencias profesionales que involucran el trabajo con MFV. En este sentido, una de las competencias a desarrollar se explicita como "Instala sistemas de energía solar fotovoltaica de baja potencia". Cabe aclarar que, para llevar a cabo esta actividad, se requiere de un conjunto de MFV para realizar diversas conexiones, lo cual requiere de una inversión económica alta por cada equipo de prueba. Además, la localización del emplazamiento y la seguridad que esto implica, son elementos adicionales que deben tomarse en cuenta en el proceso de enseñanza.

Por lo tanto, en el presente trabajo se realiza el diseño de un AFV reconfigurable de baja escala con fines didácticos.

Fundamento teórico

El funcionamiento de un MFV se puede representar mediante un diagrama de circuito eléctrico equivalente. De los diversos circuitos equivalentes que existen, el circuito equivalente de la Figura 1 es el que ofrece un balance entre cantidad de variables y exactitud de los resultados [13]. Este circuito equivalente tiene la ventaja de ser utilizado con simuladores tipo Spice [14], tal como el simulador QUCS. Los valores de R_s , R_p , I_{fg} , y n , se introducen al circuito y se lleva a cabo la simulación para encontrar el valor de I_s para una condición de voltaje de salida dado (V_s).

La evaluación que se puede realizar a partir del circuito equivalente permite obtener diversos parámetros. Sin embargo, los valores de interés serán los correspondientes al voltaje a circuito abierto (V_{ca}) y la corriente de corto circuito (I_{cc}) de la RFV o del AFV. Por lo tanto, para una RFV, el voltaje a circuito abierto es la suma de los voltajes a circuito abierto de todos los MFV que la conforman. Y la corriente de corto circuito es la suma de la corriente proporcionada por cada una de las RFV que forman AFV.

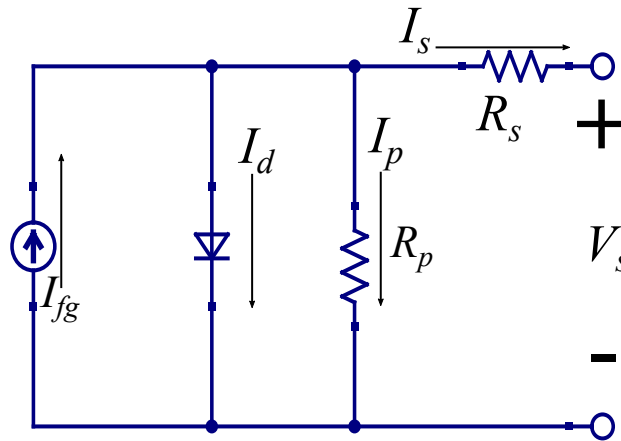


Figura 1 Circuito equivalente de una celda o módulo fotovoltaico.

Metodología

El diagrama a bloques del arreglo fotovoltaico didáctico (AFVD) se muestra en la Figura 2. Como se puede ver, el proceso inicia con la configuración del AFV. Después, se indican los puntos de medición de voltaje y corriente. Finalmente, se muestran los medidores corriente y voltaje.

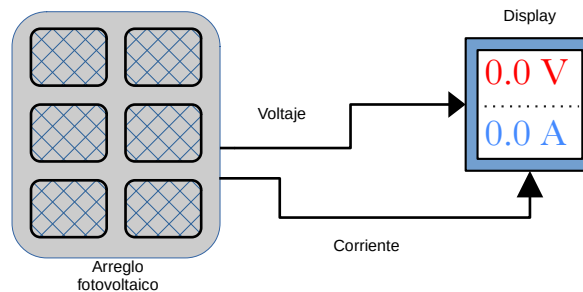


Figura 2 Diagrama a bloques del GFVD.

A continuación se describen las diversas etapas que componen al AFVD.

Arreglo fotovoltaico. Un arreglo fotovoltaico es un conjunto de MFV que se conectan de tal forma que puedan formar una serie de MFV (RFV), un conjunto de MFV en paralelo (PFV), un conjunto de ramas en paralelo (AFV). Aunque existen otros tipos de conexiones, en este trabajo únicamente serán de interés las conexiones de RFV y AFV.

Display. Esta sección sirve para mostrar visualmente el valor de la corriente y el voltaje del AFV bajo distintas condiciones de trabajo.

Materiales

Se inicia describiendo los requerimientos para la simulación. A partir del circuito equivalente que se muestra en la Figura 1, se procedió a diseñar un diagrama general del AFVD. El diagrama completo inicial se muestra en la Figura 3.

Por otra parte, el listado de materiales a utilizar se describen en la Tabla 1. Como se puede ver, los materiales son de fácil adquisición en el mercado local.

Tabla 1 Materiales utilizados en el desarrollo experimental.

Identificador	Cantidad	Descripción	Parámetro
MFV	9	Módulo fotovoltaico	$V_{ca} = 5\text{ V}$ $I_{cc} = 160\text{ mA}$
Display	5	Medidor de voltaje y corriente	$V_{max} = 100\text{ V}$ $I_{max} = 50\text{ A}$

Desarrollo

A continuación se describirán las condiciones de funcionamiento de cada etapa del AFVD.

El arreglo fotovoltaico considerado, tendrá la estructura general de $M \times N$, donde M es la cantidad de MFV en serie, y N es la cantidad de series conectadas en paralelo. De tal forma que se analizarán las combinaciones indicadas en la Tabla 2. Para obtener V_{ca} , el AFVD estará en la condición de circuito abierto (CA), y la I_{cc} se obtendrá en la condición de corto circuito (CC).

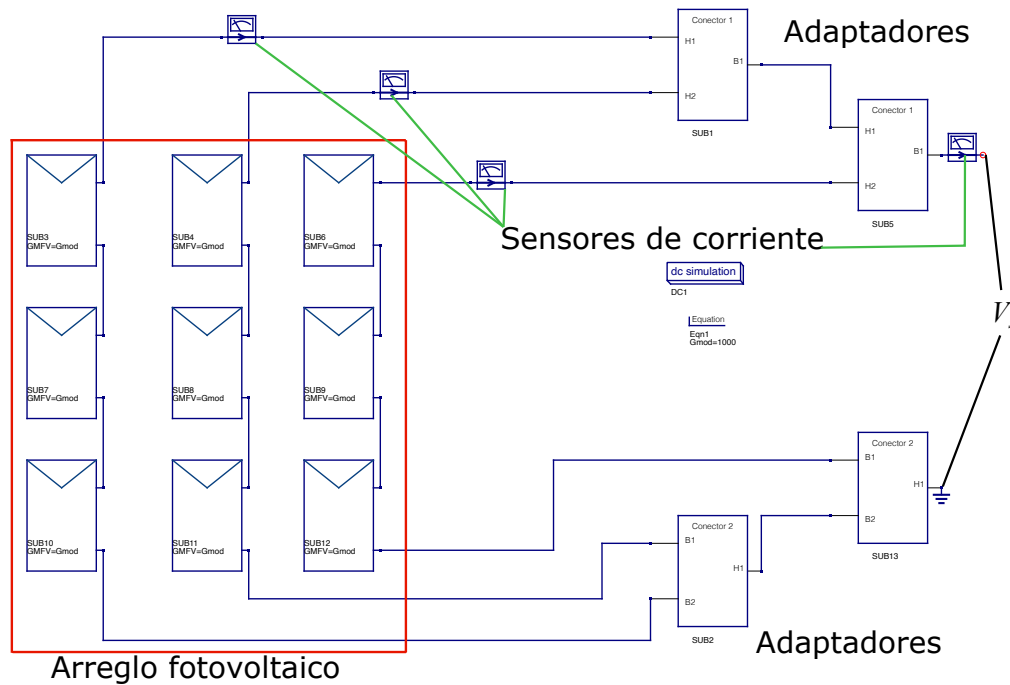


Figura 3 Esquema eléctrico del GFVD diseñado en QUCS.

Las Ecuaciones (1) y (2) se utilizan para calcular el V_{ca} del ARFV y la I_{cc} , respectivamente.

$$V_{ca} = M * V_{MFV} \quad (1)$$

$$I_{cc} = N * I_{MFV} \quad (2)$$

donde V_{MFV} es el voltaje máximo proporcionado por un MFV que se encuentra en la condición de circuito abierto. Además, I_{MFV} es la corriente máxima proporcionada por un MFV en la condición de corto circuito.

Tabla 2 Identificadores de las condiciones del GFVD a evaluar.

Identificador	M	N	Características	Parámetros	
				V_{ca} (V)	I_{cc} (mA)
M3N1	3	1	1 RFV con 3 MFV	15	160
M6N1	6	1	1 RFV con 6 MFV	30	160
M3N2	3	2	2 RFV con 3 MFV	15	320
M3N3	3	3	3 RFV con 3 MFV	15	480

Las conexiones de los MFV y los elementos de medición serán los adecuados para el tipo de conexión a analizar.

Resultados y discusión

En esta sección se expondrán dos conjuntos de resultados. El primero corresponde a la simulación de las diversas configuraciones indicadas en la Tabla 2. En el segundo conjunto, se muestran los resultados experimentales realizados a la configuración indicada en la Figura 3.

Simulación de las diversas configuraciones del AFVD

Utilizando los datos del fabricante de los MFV adquiridos, se llevó a cabo la simulación de las diversas condiciones del AFVD indicadas en la Tabla 2. Los resultados de las simulaciones se muestran en la Tabla 3. Como se puede ver, el V_{ca} y la I_{cc} tienen valores muy cercanos los resultados esperados en la Tabla 2. Cabe aclarar que las simulaciones se realizaron considerando una temperatura de 25 °C y una irradiancia (G) de 1000 Wm⁻².

Tabla 3 Resultados esperados y obtenidos de la simulación.

Id	Estado	Esperado					Simulación				
		$Sc1$ (mA)	$Sc2$ (mA)	$Sc3$ (mA)	$Sc4$ (mA)	V_s (V)	$Sc1$ (mA)	$Sc2$ (mA)	$Sc3$ (mA)	$Sc4$ (mA)	V_s (V)
M3N1	CA	0	--	--	0	15	0	--	--	0	14.6
	CC	160	--	--	--	0	180	--	--	160	0
M6N1	CA	0	--	--	0	30	0	--	--	0	29.3
	CC	160	--	--	--	0	160	--	--	160	0
M3N2	CA	0	0	--	0	15	0	0	--	0	14.6
	CC	160	160	--	320	0	160	160	--	320	0
M3N3	CA	0	0	0	0	15	0	0	0	0	14.6
	CC	160	160	160	480	0	160	160	160	480	0

Resultados experimentales

En cuanto a los resultados experimentales, en la Figura 4 a), se muestra la instalación de los MFV, además, es visible las modificaciones realizadas a los MFV para poder realizar las diversas conexiones de interés. En la Figura 4 b) se muestran los dispositivos de medición. Finalmente, en la Figura 4 c), se muestran los adaptadores creados para la conexión de ramas en paralelo.

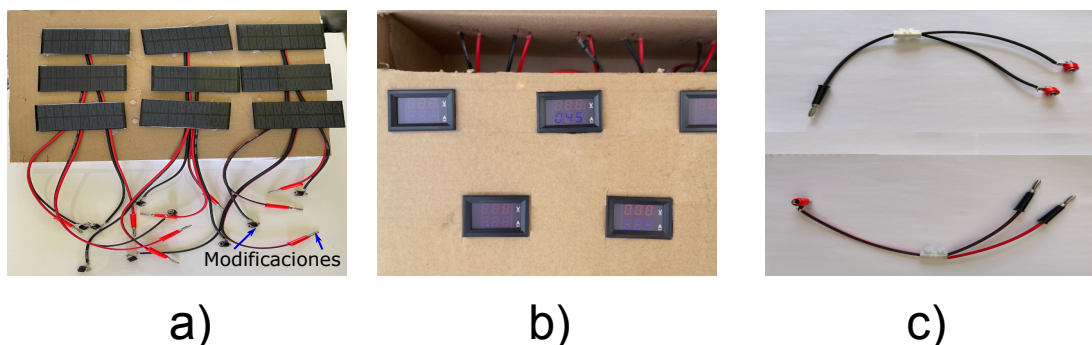


Figura 4 Elementos del GFVD. a) Conjunto de MFV. b) Dispositivos de medición. c) Adaptadores creados.

Una vez que se tiene la instalación del conjunto de elementos que conforman al GFVD, se procede a la verificación de las condiciones interés. Por lo tanto, en la Tabla 4, se muestran los resultados esperados y los resultados obtenidos experimentalmente. Como se puede observar, la diferencia entre los valores esperados y los obtenidos experimentalmente fue bastante pequeña. Esto se debe principalmente a que las evaluaciones experimentales se realizaron en un rango de 950 a 1000 Wm⁻² y temperaturas mayores a 25 °C. El incremento de la temperatura provoca que la corriente del MFV se incremente, de tal forma que esto podría ser la causa de algunas diferencias en cuanto a los valores obtenidos. Sin embargo, se cumple la condición de que, al incrementar la cantidad de ramas en paralelo, se incrementa la corriente total. Además, se puede corroborar que el incremento de MFV en serie, provoca un incremento en el voltaje de salida de la RFV.

Tabla 4 Resultados esperados y obtenidos en la evaluación experimental.

Id	Estado	Esperado					Experimental				
		Sc1 (mA)	Sc2 (mA)	Sc3 (mA)	Sc4 (mA)	Vs (V)	Sc1 (mA)	Sc2 (mA)	Sc3 (mA)	Sc4 (mA)	Vs (V)
M3N1	CA	0	--	--	0	15	0	--	--	0	17.1
	CC	160	--	--	--	0	180	--	--	180	0
M6N1	CA	0	--	--	0	15	0	--	--	0	34.7
	CC	160	--	--	--	0	180	--	--	180	0
M3N2	CA	0	0	--	0	15	0	0	--	0	16.7
	CC	160	160	--	320	0	170	180	--	350	0
M3N3	CA	0	0	0	0	15	0	0	0	0	16.7
	CC	160	160	160	480	0	170	180	170	520	0

Finalmente, en cuanto al voltaje de las ramas en la condición de circuito abierto, se observó un valor mayor que lo esperado. Para corroborar esta diferencia, se analizó el voltaje a circuito abierto de los MFV. De esta evaluación, se encontró que el fabricante indica un voltaje de salida de +5 V, sin embargo, el voltaje de salida de los MFV se encuentra entre +5.8 a +6.3 V. Por consiguiente, esta sería una de las causas por las que el voltaje a circuito abierto es mayor de lo esperado.

Trabajo a futuro

Queda por realizar las adecuaciones necesarias que permitan la evaluación de condiciones anómalas de desempeño del AFVD. Dichas adecuaciones deben contemplar condiciones anómalas tales como sombreado parcial y circuito abierto en alguna de las ramas. Con los ajustes necesarios, es posible desarrollar un dispositivo que permita obtener la curva de desempeño del AFVD.

Conclusiones

En el presente trabajo, se diseñó un AFVD reconfigurable. Mediante el esquema propuesto, se pudo realizar la conexión de MFV en diversas configuraciones. La principal ventaja de este AFVD es que debido a sus características, la conexión y desconexión de los MFV no representa un riesgo para el usuario. En cuanto a los resultados experimentales obtenidos, estos fueron similares a las que se obtuvieron en la simulación del AFVD. Sin embargo, existieron algunas diferencias debidas a la magnitud de la irradiancia y la temperatura, las cuales fueron variables no controladas.

Referencias

- [1] C. B. Jones *et al.*, "Automatic fault classification of photovoltaic strings based on an in situ IV characterization system and a Gaussian process algorithm," *2016 IEEE 43rd Photovolt. Spec. Conf.*, pp. 1708–1713, 2016, doi: 10.1109/PVSC.2016.7749915.
- [2] M. H. Ali, A. Rabhi, A. El Hajjaji, and G. M. Tina, "Real Time Fault Detection in Photovoltaic Systems," *Energy Procedia*, vol. 111, no. September 2016, pp. 914–923, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.254.
- [3] J. I. Morales-Aragón, M. Dávila-Sacoto, L. G. González, V. Alonso-Gómez, S. Gallardo-Saavedra, and L. Hernández-Callejo, "A review of I–V tracers for photovoltaic modules: Topologies and challenges," *Electron.*, vol. 10, no. 11, 2021, doi: 10.3390/electronics10111283.
- [4] H. Amiry *et al.*, "Design and implementation of a photovoltaic I-V curve tracer: Solar modules characterization under real operating conditions," *Energy Convers. Manag.*, vol. 169, no. February, pp. 206–216, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.05.046.
- [5] I. Morales-aragon, G. Alonso, S. Gallardo-saavedra, A. Redondo-plaza, D. Fern, and L. Hern, "applied sciences Low-Cost Three-Quadrant Single Solar Cell I-V Tracer," 2022.
- [6] M. Cáceres *et al.*, "Low-Cost I–V Tracer for PV Modules under Real Operating Conditions," *Energies*, vol. 13, no. 17, pp. 1–17, 2020, doi: 10.3390/en13174320.
- [7] J. Sayyad and P. Nasikkar, "Design and Development of Low Cost, Portable, On-Field I-V Curve Tracer Based on Capacitor Loading for High Power Rated Solar Photovoltaic Modules," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 70715–70731, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3078532.
- [8] F. Spertino, G. Malgaroli, A. Amato, M. A. E. Qureshi, A. Ciocia, and H. Siddiqi, "An Innovative Technique for Energy Assessment of a Highly Efficient Photovoltaic Module," *Solar*, vol. 2, no. 2, pp. 321–333, 2022, doi: 10.3390/solar2020018.
- [9] P. Casado, J. M. Blanes, C. Torres, C. Orts, D. Marroquí, and A. Garrigós, "Raspberry Pi based photovoltaic I-V curve tracer," *HardwareX*, vol. 11, p. e00262, 2022, doi: 10.1016/j.ohx.2022.e00262.
- [10] I. González, J. M. Portalo, and A. J. Calderón, "Configurable IoT open-source hardware and software I-V curve tracer for photovoltaic generators," *Sensors*, vol. 21, no. 22, 2021, doi: 10.3390/s21227650.
- [11] S. Sarikh, M. Raoufi, A. Bennouna, A. Benlarabi, and B. Ikken, "Design of an I-V Characteristic Tracer for Photovoltaic Systems," *Proc. 2017 Int. Renew. Sustain. Energy Conf. IRSEC 2017*, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/IRSEC.2017.8477298.
- [12] D. G. de E. Industrial, Tecnológica, *Programa de estudios de la carrera técnica fuentes alternas de energía*. México, 2019, p. 95.
- [13] A. Al-Subhi, "Parameters estimation of photovoltaic cells using simple and efficient mathematical models," *Sol. Energy*, vol. 209, no. September, pp. 245–257, 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.08.079.
- [14] J. Cubas, S. Pindado, and C. De Manuel, "Explicit expressions for solar panel equivalent circuit parameters based on analytical formulation and the lambert W-function," *Energies*, vol. 7, no. 7, pp. 4098–4115, 2014, doi: 10.3390/en7074098.

Proyecto integrador para programación Web, una estrategia del pensamiento creativo

P. Quitl González^{1*}, C. Nava Arteaga¹, M.A. Herrera Hernández², T.L. Estévez Dorantes¹, K. Bozziere Solis³.

¹Dep.de Sistemas y Computación, Tecnológico Nacional de México, campus Orizaba Av. Ote.9 No.852, Orizaba, Ver.

²Dep. de Ciencias Básicas, Tecnológico Nacional de México, campus Orizaba Av. Ote.9 No.852, Orizaba, Ver.

³Estudiante de Ing. en Sistemas Computacionales, Tecnológico Nacional de México, campus Orizaba Av. Ote. 9 No.852, Orizaba, Ver.

*patricia.qg@orizaba.tecnm.mx

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

La carrera de ingeniería en sistemas computacionales del Tecnológico Nacional de México forma profesionistas capaces de diseñar y desarrollar soluciones innovadoras mediante aplicaciones Web, para ello se imparte el curso de programación Web. Este trabajo describe la implementación del aprendizaje basado en proyectos mediante el desarrollo un proyecto integrador en el curso enero-junio 2022, donde lo estudiantes emplearon la metodología XP, manejo de base de datos y uso de lenguajes Web para diseñar soluciones a problemáticas reales. El curso se llevó a cabo en 16 semanas, con 34 estudiantes organizados en 6 equipos de trabajo. El total de los estudiantes aprobaron el curso, el 68% de ellos alcanzó un nivel de desempeño notable. Se plantea establecer esta estrategia para los cursos sucesivos puesto que facilita la creación de proyectos multidisciplinarios exitosos y aporta a los estudiantes una experiencia que proporciona confianza en sus habilidades y fomenta su pensamiento creativo.

Palabras clave: programación Web, proyecto integrador, multidisciplinario, pensamiento.

Abstract

The career of engineering in computer systems of the Tecnológico Nacional de México trains professionals capable of designing and developing innovative solutions through Web applications, for this the Web programming course is taught. This paper describes the implementation of project-based learning through the development of an integrative project in the January-June 2022 academic year, where students used the XP methodology, database management and use of Web languages to design solutions to real problems. The course lasted 16 weeks, with 34 students organized into 6 work teams. The total of the students passed the course, 68% of them reached a remarkable level of performance. It is proposed to establish this strategy for successive courses since the strategy facilitates the creation of successful multidisciplinary projects and provides students with an experience that provides confidence in their abilities and encourages their creative thinking.

Key words: Web programming, integrative project, multidisciplinary, thinking.

Introducción

En la actualidad el uso de aplicaciones Web (AWeb) representan unas de las herramientas más necesarias en las empresas, pues facilitan la vida de los usuarios, promueven la interconectividad entre organizaciones e incluso entre las propias computadoras, así mismo mejoran la experiencia en la adquisición de productos y servicios. De acuerdo con las necesidades de cada empresa, puede ser necesario contar con AWeb para gestionar operaciones propias de la organización como: contabilidad, gestión financiera, manufactura, mantenimiento, gestión de inventarios, Etc. Cada organización debe encontrar la mejor manera para optimizar sus procesos y cumplir con las crecientes demandas de sus clientes.

De hecho, el desarrollo de aplicaciones Web se ha convertido en conocimiento básico (*commodity*) en la industria del software [1]. Una AWeb se accede por parte de los usuarios a través de Internet, utilizando un navegador como cliente, se compone de una colección de programas del lado del cliente (*frontend*) y programas del lado del servidor (*backend*) los cuales se difunden a través de múltiples servidores [2]. Para desarrollar estas aplicaciones se requiere de conocimientos y habilidades en las áreas de: ingeniería de software, base de datos, además de tecnologías que permitan su construcción tanto para el *fronted* y el *backed*.

Consecuentemente, se requiere de profesionistas con habilidades para identificar los requerimientos de los usuarios que permitan crear aplicaciones que cubran las necesidades de las empresas a través de equipos multidisciplinarios en las áreas de: ingeniería de software, gestión de base de datos, diseño de interfaces y lógica del negocio. El Consorcio de la *World Wide Web* (W3C) establece protocolos, lenguajes y tecnologías interoperativas que guían las disciplinas para el desarrollo de las AWeb [3] como los son HTML, CSS, JavaScript para el *frontend*, además de PHP, SQL para el lado del *backend*.

Asimismo, el Tecnológico Nacional de México (TecNM) desde el 2014 ha establecido como estrategia didáctica el desarrollo de proyectos integradores para la formación de competencias profesionales [4], cuya finalidad es vincular el proceso de enseñanza-aprendizaje con problemas reales del entorno, que generen confianza en los estudiantes para trabajar en equipos multidisciplinarios; mediante el fomento de habilidades para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.

Cabe destacar que esta estrategia se fundamenta en el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) el cual tiene sus raíces en el constructivismo (Piaget y Vigotsky), ABP plantea una educación basada en el desarrollo de destrezas, con el objetivo de que el aprendizaje sea continuo, significativo, satisfactorio y receptivo para los estudiantes [5]. Al respecto se han elaborado diversos estudios como [6] en el que demuestra la experiencia docente aplicando ABP para detectar oportunidades de mejora en el proceso enseñanza-aprendizaje en la carrera de ingeniería de datos. Adicionalmente, otro estudio denominado *Adaptación de un modelo de Aprendizaje Basado en Proyectos: experiencias en tiempo de confinamiento* [7], presentan la satisfacción de los estudiantes en el proceso de desarrollo del proyecto y muestran resultados positivos ante los cambios aplicados a la asignatura a pesar de que los docentes percibieron un aumento significativo de su carga docente; gran parte del aumento de la carga se concentró durante el desarrollo del proyecto, mientras que el periodo de evaluación final fue mucho menos costoso. ABP es un modelo pedagógico actualmente favorecido para apoyar la enseñanza mediante proyectos integradores [8] el cual su efectividad debe ser estudiada para identificar sus áreas de mejora.

Por esta razón, se planteó un proyecto integrador como estrategia didáctica para el desarrollo de habilidades de los estudiantes en el período enero-junio 2022 de la asignatura de Programación Web (PWeb) que se imparte en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del TecNM, campus Orizaba.

La asignatura de Pweb aporta al perfil del egresado la capacidad para desarrollar y administrar software que apoye la productividad y competitividad de las organizaciones cumpliendo con estándares de calidad, mediante el desarrollo de aplicaciones Web utilizando las tecnologías básicas que señala el W3C.

Esta asignatura requiere que el estudiante aplique métodos y herramientas de la ingeniería del software aplicando estándares de calidad y productividad, así como, emplee tecnologías de software y su pensamiento lógico para la solución de problemas, además de diseñar e implementar esquemas de bases de datos para garantizar el tratamiento de información. La asignatura consiste en cinco temas [9]:

Tema 1: Se centra en antecedentes de las aplicaciones Web: su arquitectura, tecnologías y forma de planificar.
Tema 2: Contempla los lenguajes para el desarrollo del *frontend*, como lo es HTML y CSS.
Tema 3: Se enfoca en la creación, control y manipulación de objetos utilizados por el cliente.
Tema 4: Aborda la programación del lado del *backend* en donde se logra la manipulación de objetos y el acceso a datos para la presentación de procesos dinámicos y sus resultados en una aplicación web.
Tema 5: Trata lo relacionado al cómputo en la nube, patrones de diseño y desarrollo, para su posterior integración con servicios Web.

El objetivo del proyecto integrador es impulsar que los alumnos apliquen las habilidades de áreas cursadas previamente como la metodología XP, que es parte de ingeniería de software, al igual que MySQL como parte de base de datos. Además, que desarrollen las destrezas propuestas en PWeb en cuanto el manejo de las tecnologías para el *frontend* y *backend*, que se plantean en la asignatura. A través de la figura 1 se muestra la relación de las asignaturas indicadas en el programa académico de ingeniería en sistemas computacionales.

SEP		INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES							TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA		ISIC-2010-224							SECRETARÍA ACADÉMICA, DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN	
DIRECCIÓN DE CIENCIA E INNOVACIÓN EDUCATIVA									DIRECCIÓN DE CIENCIA E INNOVACIÓN EDUCATIVA	
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Cálculo Diferencial ACF-0901 3-2-5	Cálculo Integral ACF-0902 3-2-5	Cálculo Vectorial ACF-0904 3-2-5	Ecuaciones Diferenciales ACF-0905 3-2-5	Graficación SCC-1010 2-2-4	Lenguajes y Automatas I SCD-1015 2-3-5	Lenguajes y Automatas II SCD-1016 2-3-5	Programación Lógica y Funcional SCC-1019 2-2-4	Inteligencia Artificial SCC-1012 2-2-4		
Fundamentos de Programación AED-1285* 2-3-5	Programación Orientada a Objetos AED-1286** 2-3-5	Estructura de Datos AED-1026 2-3-5	Métodos Numéricos SCC-1017 2-2-4	Fundamentos de Telecomunicaciones AEC-1034 2-2-4	Redes de Computadoras SCD-1021 2-3-5	Comunicación y Enrutamiento en Redes de Datos SCD-1004 2-3-5	Administración de Redes SCA-1002 0-4-4		Residencia Profesional	
Taller de Ética ACA-0907 0-4-4	Contabilidad Financiera AEC-1008 2-2-4	Cultura Empresarial SCC-1005 2-2-4	Tópicos Avanzados de Programación SCD-1027 2-3-5	Sistemas Operativos AEC-1061 2-2-4	Taller de Sistemas Operativos SCA-1026 0-4-4	Taller de Investigación I ACA-0909 0-4-4	Taller de Investigación II ACA-0910 0-4-4		10	
Matemáticas Discretas AEF-1041 3-2-5	Química AEC-1058 2-2-4	Investigación de Operaciones SCC-1013 2-2-4	Fundamentos de Bases de Datos AEF-1031 3-2-5	Taller de Base de Datos SCA-1025 0-4-4	Administración de Bases de Datos SCB-1001 1-4-5				Especialidad	
Taller de Administración SCH-1024 1-3-4	Álgebra Lineal ACF-0903 2-3-5	Desarrollo Sustentable ACD-0908 2-3-5	Simulación SCD-1022 2-3-5	Fundamentos de Ingeniería de Software SCC-1007 2-2-4	Ingeniería de Software SCD-1011 2-3-5	Programación Web AEB-1055 1-4-5	Gestión de Proyectos de Software SCG-1009 3-3-6		25	
Fundamentos de Investigación ACC-0906 2-2-4	Probabilidad y Estadística AEF-1052 3-2-5	Física General SCF-1006 3-2-5	Principios Elementales y Aplicaciones Dignas SCD-1018 3-2-5	Arquitectura de Computadores SCD-1003 2-2-4	Lenguajes de Interfaz SCC-1014 2-2-4	Sistemas Programables SCC-1023 2-2-4				
Actividades Complementarias						Servicio Social				
5						10				
27	28	28	29	25	28	24	17	4		
								210	Estructura General	
								25	Especialidad	
								10	Residencia Profesional	
								10	Servicio Social	
								5	Actividades Complementarias	
								260	Total de Créditos	

*SCD-1008 se actualiza a AED-1285
 **SCD-1020 se actualiza a AED-1286

Arcos de Belén Núm. 79, Piso 4, Col. Centro, Del. Cuauhtémoc, C.P. 06010, México, D.F. d_docencia@tecnm.mx

©TECNM mayo de 2016

Figura 1. Plan de estudios de Ingeniería en Sistemas Computacionales [10].

Metodología

La estrategia didáctica de proyecto integrador se planteó en tres etapas: diseño, ejecución y evaluación.

Diseño

La asignatura se imparte una vez que los estudiantes han cursado las asignaturas de *administración de base de datos*, e *ingeniería de software*.

En esta fase, se aplicó la metodología XP para el proceso de desarrollo del proyecto y se usó MySQL para el manejo de base datos.

- XP (eXtrem Programming) es una es una metodología para el desarrollo de software formulada por Kent Beck [11], se diferencia de las metodologías tradicionales pues enfatiza la adaptabilidad de las aplicaciones. XP en equipos de desarrollo de software ha mostrado ser efectiva en tiempos de entrega pues considera que los cambios de requisitos sobre la marcha son un aspecto natural del desarrollo de proyectos [12], la entrega se va desplegando mediante prototipos que evoluciona a través de entregas parciales y revisiones con los usuarios, la figura 2 muestra las fases de la metodología.

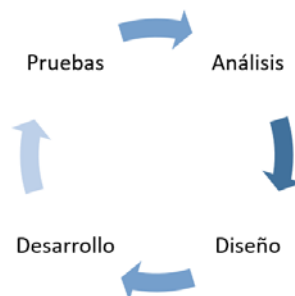


Figura 2. Fases de la metodología XP. Creación propia.

- MySQL, es el sistema de gestión de bases de datos relacional más extendido en la actualidad al estar basada en código abierto, es una opción económica para el almacenamiento de base de datos relacionales en proyectos medianos, brinda configuraciones para el rendimiento, por lo que se puede optimizar la eficacia del procesamiento [13].

A su vez, el profesor previamente identificó los posibles proyectos a desarrollar mediante problemáticas dentro del propio instituto o aplicaciones potenciales que requiere la comunidad, como: servicios para un museo de la localidad, servicios para atención lúdica de mascotas, control de inventarios para una panificadora, comercio electrónico de bienes y servicios. Cada proyecto fue una necesidad por clientes reales de la localidad.

En cuanto a los estudiantes, el grupo se conformó por 34 estudiantes, organizado en 6 equipos de trabajo que cuya responsabilidad fue cumplir las siguientes metas:

1. Aplicar la metodología XP, para identificar los requisitos funcionales y no funcionales de la AWeb a desarrollar.
2. Construir la base de datos requerida en la problemática identificada
3. Aplicar las tecnologías y lenguajes para el desarrollo de la aplicación Web.
4. Elaborar los programas necesarios mediante las tecnologías estudiadas en la asignatura.
5. Exponer avances, aportaciones y dudas surgidas dentro del proceso de desarrollo.

Adicionalmente, el profesor llevó a cabo el seguimiento de los proyectos mediante un plan de trabajo que organizó de forma iterativa e incremental siguiendo las fases de XP, lo que aportó un proceso flexible que permitió regresar de manera ágil a fases anteriores cuando fue necesario. Los proyectos se desarrollaron en 16 semanas, la tabla 1 muestra el plan de trabajo.

Tabla 1. Plan de trabajo para realizar el proyecto integrador.

Metas	Objetivo	Entregables	Semanas															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Aplicar metodología XP.	Analizar las necesidades del usuario a partir del proyecto asignado por el profesor.	Diagrama de Modelado de Procesos de negocio (BPMN). Historias de usuario. Lista de criterios de aceptación.																
Exponer avances.	Diseñar presentación Establecer videoconferencia.	Presentación del avance.																
Aplicar las tecnologías y lenguajes básicos para desarrollar Aweb.	Solucionar prácticas en HTML y CSS.	Programas ejemplo como parte de la asignatura.																
Elaborar los programas de la aplicación.	Desarrollar el <i>frontend</i> de la AWeb aplicando HTML y CSS.	Prototipo visual de la aplicación.																
Aplicar metodología XP.	Probar la navegación del prototipo desarrollado.	Mapa de navegación. Lista de criterios de aceptación.																
Exponer avances.	Diseñar presentación, para argumentar su operación.	Presentación del avance																
Construir la base de datos.	Diseñar e implementar la Base de Datos.	Modelo entidad-relación (E.R). Diccionario de Datos (DD) Implementa Base de Datos (BD).																
Aplicar las tecnologías y lenguajes de control para desarrollar Aweb.	Elaborar prácticas en JavaScript.	Programas ejemplo como parte de la asignatura.																
Elaborar los programas de la aplicación.	Desarrollar validaciones en JavaScript a partir del <i>frontend</i> .	Prototipo evolutivo de la aplicación.																
Aplicar metodología XP.	Evaluar la navegación del prototipo desarrollado.	Mapa de navegación. Lista de criterios de aceptación.																
Exponer avances.	Diseñar presentación, para argumentar su operación.	Presentación del avance.																

Tabla 1 (Continuación). Plan de trabajo para realizar el proyecto integrador.

Metas	Objetivo	Entregables	Semanas															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Aplicar las tecnologías y lenguajes de servicio para desarrollar Aweb.	Desarrollar prácticas en PHP.	Programas ejemplo como parte de la asignatura.																
Elaborar los programas de la aplicación.	Desarrollar rutinas de <i>backend</i> al prototipo para el manejo de base de datos.	Aplicación Web.																
Aplicar metodología XP.	Probar la aplicación Web.	Lista de criterios de aceptación. Lista de cotejo. AWeb final.																
Exponer proyecto final	Diseñar presentación, para argumentar su operación.	Presentación final del proyecto.																

También como parte del proyecto integrador se relacionaron las competencias alcanzadas a través de las habilidades que provee cada una de las asignaturas que se aplican, en la tabla 2 se puede observar tal relación.

Tabla 2. Relación de competencias entre las asignaturas previas que apoyan al proyecto integrador.

Competencias por Desarrollar	Asignatura	Etapa de Evidencia 1	Etapa de Evidencia 2	Etapa de Evidencia 3
Identifica, conoce y aplicar los lenguajes de programación Web Avanzados como herramienta de desarrollo de aplicaciones.	Ingeniería de software	Modelo de Requisitos funcionales y no funcionales Diseño de la interfaz de la aplicación.	Prototipo escrito en JSP que representan la funcionalidad del diseño de la aplicación. Base de datos normalizada.	Aplicación Web que cubra los requisitos funcionales y no funcionales.
Identifica los componentes de la plataforma Web, aplicando las herramientas correspondientes para su configuración.	Ingeniería de software	Instructivo de instalación del servidor de aplicaciones Web Archivos de configuración de estilos de la aplicación Web	Instructivo de instalación y configuración del gestor de base de datos. Archivos de validaciones y verificaciones de la aplicación Web	Programas que permitan acceso a la base de datos.
Crea y aplica esquemas de bases de datos para garantizar la confiabilidad de los datos en aplicaciones para el tratamiento de información.	Taller de Base de Datos	Diagrama de clases de las entidades de almacenamientos	Scripts que de la Base de Datos.	Diccionario de Datos
Aplica técnicas y herramientas para el diseño del sistema de información.	Ingeniería de software	Diagramas en BPMN Descripción de Casos de Uso Diagramas de Secuencia.	Diseño de pruebas unitarias, de integración y aceptación	Diagrama de Gantt para seguimiento de pruebas

Ejecución

En cuanto a la forma bajo la cual se ofreció la asignatura, se llevó con sesiones de una hora de lunes a viernes mediante videoconferencia, apoyándose de la estrategia de aula invertida a través de la cual se les facilitó a los estudiantes material didáctico como videos, manuales y presentaciones con los contenidos temáticos de la asignatura. La distribución del material y recepción de actividades se realizó mediante la plataforma de aprendizaje Moodle. Asimismo, las aplicaciones Web desarrolladas por parte de los equipos de trabajo fueron instaladas en un servidor Web propio del docente que impartió la asignatura.

Evaluación

La valoración de la estrategia se determinó mediante el 40% del informe que documentó el proceso de desarrollo del proyecto y un 60% el proceso de desarrollo de la aplicación Web generada, de tal forma que el informe concentró los artefactos planteados en el plan de trabajo.

1. Evaluación Diagnóstica

Para evaluar la estrategia se consideraron 34 alumnos inscritos en el curso enero – junio 2022 a los cuales se le aplicó una evaluación diagnóstica, cuya finalidad fue indagar acerca de su experiencia en el manejo de base de datos, así como, de la metodología XP y uso de herramientas de software para el diseño de proyectos,

tal como *Balsamiq* y *VisualParadigm*. En la evaluación diagnóstica se usó una escala de Liker con 4 posibles valores: sin experiencia, básica, intermedia y avanzada, la tabla 3 muestra la evaluación diagnóstica.

Tabla 3. Evaluación diagnóstica aplicada

Asignatura: Programación Web				
La siguiente evaluación es conocer la experiencia en el manejo de base de datos y empleo de la metodología XP.				
Marcar las celdas correspondientes al grado de experiencia de acuerdo con la siguiente escala:				
0=Sin experiencia, 1=Básica(usado en un proyecto), 2=Intermedia(usado en dos proyectos), 3=Avanzada(usado en tres proyectos)				
Gracias por tu participación				
	0	1	2	3
1. ¿Has diseñado diagramas de procesos de negocio (BPMN)?				
2. ¿Identificas los elementos de las historias de usuario?				
3. ¿Reconoces la diferencia entre un requisito funcional y un no funcional?				
4. ¿Has empleado algún software para diseño de prototipos?				
5. ¿Identificas que es <i>Balsamiq</i> ?				
6. ¿Has empleado <i>VisualParadigm</i> ?				
7. ¿Has creado un modelo entidad-relación?				
8. ¿Distingues que es un diccionario de base de datos?				
9. ¿Tienes experiencia con el uso de MySQL?				
10. ¿Cuál es tu grado de uso de un gestor de base de datos?				

Las primeras 6 preguntas buscan establecer el porcentaje de experiencia en cuanto a la aplicación de la metodología XP, las 4 preguntas posteriores establecen la experiencia en el manejo de base de datos. Se encontró que en cuanto al aplicación de la metodología XP un 68% de los estudiantes no tiene experiencia, un 30% ha participado en al menos 1 proyecto aplicando dicha metodología, mientras que un 2% ha participado en dos proyectos y ningún estudiante a participado en 3 proyectos; esto indica que la mayoría de ellos requieren vivir la experiencia en XP. En cuanto al manejo de base de datos el 96% de los estudiantes al menos ha participado en un proyecto, el 4% de ellos a trabajado en 2 proyectos; esto demuestra que la gran mayoría de los estudiantes si ha aplicado sus habilidades en base de datos. El comportamiento de las respuestas de los alumnos se muestra en la figura 3, mientras que los porcentajes de los resultados se aprecian en la figura 4.

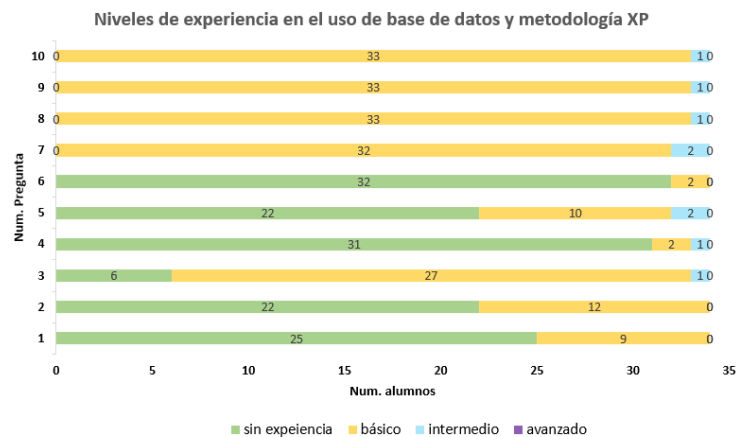


Figura 3. Resultados de evaluación diagnóstica aplicada.



Figura 4. Porcentaje de experiencia en la aplicación de la metodología XP, y de base de datos.

En base a la información recolectada se estableció que los proyectos planteados para la asignatura PWeb son un medio en el cual los estudiantes desarrollaron sus habilidades en diversas áreas de su quehacer profesional al proporcionar un andamiaje para el perfeccionamiento de competencias en el área de creación de aplicaciones para la Web.

2. Guía de observación

Mediante este instrumento se evaluó el proceso de desarrollo del proyecto integrador, los criterios observados se encuentran en la tabla 4. El instrumento se encuentra organizado en 4 fases, las tres primeras representan el 60% de la valoración de las habilidades desarrolladas por los estudiantes en el proceso de desarrollo del proyecto integrador, mientras que la fase 4 representa el 40% que permite evaluar el informe para documentar el proceso.

Tabla 4. Guía de observación para evaluar el desarrollo del proyecto integrador.

Asignatura: Programación Web						
Competencias: Aplica correctamente las fases de la metodología XP, así como implementa de manera efectiva la base de datos y además desarrolla los módulos de la aplicación mediante la arquitectura propuesta. Aspectos para observar: ¿Cómo reacciona el estudiante frente a las actividades propuestas?, ¿Cómo interactúan con los miembros del equipo de trabajo?, ¿Llevan en orden las actividades planteadas?, ¿Utilizan las herramientas tecnológicas y lenguajes de programación de manera eficiente?, ¿Resuelven oportunamente los retos tecnológicos?, ¿Su comunicación oral y escrita es adecuada?						
Fase 1:						
Fechas de la observación:						
Aprendizaje esperado	Fecha: identifica los requisitos funcionales y no funcionales	Fecha Diseña diagramas de procesos de negocios (BPMN)	Fecha Establece historias de usuario	Fecha Elabora lista de criterios de aceptación.	Fecha Presenta avance del proyecto Presenta lista de criterios de aceptación	Fecha Elabora prácticas como parte de la asignatura.
Observaciones						
Valoración						
Total						/ 20%
Fase 2:						
Fecha de la observación						
Aprendizaje esperado	Fecha: Diseña mapa de navegación	Fecha Crea la vista del prototipo inicial	Fecha Diseña modelo E-R	Fecha Crea DD	Fecha Implementa Base de Datos (BD)..	Fecha Elabora prácticas <i>frontend</i> como parte de la asignatura.
Observaciones						
Valoración						
Total						/ 20%
Fase 3:						
Fecha de la observación						
Aprendizaje esperado	Fecha: Construye prototipo evolutivo	Fecha Presenta avance del proyecto Presenta lista de criterios de aceptación	Fecha Elabora prácticas con <i>rutinas de control</i> como parte de la asignatura.	Fecha Construye prototipo evolutivo	Fecha Presenta avance del proyecto Presenta lista de criterios de aceptación	Fecha Elabora prácticas <i>frontend</i> como parte de la asignatura.
Observaciones						
Valoración						
Total						/ 20%
Fase 4:						
Fecha de la observación						
Aprendizaje esperado	Fecha: Construye prototipo evolutivo	Fecha Presenta avance del proyecto Presenta lista de criterios de aceptación	Fecha Mejora observaciones indicadas	Fecha Presenta proyecto final	Fecha Elabora reporte del proyecto	Fecha Entrega en tiempo reporte de proyecto final
Observaciones						
Valoración						
Total						/40%
Total del Proyecto integrador						


Resultados y discusión

Al terminar el curso se logró concluir con éxito 6 proyectos integradores, atendiendo a un total de 34 estudiantes. Para realizar la valoración de los estudiantes considerando el plan estudios de la asignatura se estableció una relación entre las fases de desarrollo del proyecto integrador y el contenido temático [14], tal como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Relación de temas para su valoración mediante guía de observación.

Tema del plan de estudios	Competencia a desarrollar	Fase de evaluación
Introducción a las aplicaciones Web	Conoce la evolución, arquitectura, tecnologías y planificación de las aplicaciones Web para la preparación de un ambiente de desarrollo.	1
HTML, XML y CSS	Conoce y aplica las herramientas para construir páginas web, considerando la interfaz gráfica de usuario, un lenguaje de marcado y de presentación.	2
Programación del lado del cliente	Conoce y aplica un lenguaje de programación del lado del cliente, para la construcción de aplicaciones Web dinámicas, considerando Frameworks ya existentes.	3
Programación del lado del servidor	Conoce y aplica un lenguaje de programación del lado del servidor, para la construcción de aplicaciones Web dinámicas, considerando su conectividad a orígenes de datos.	4
Programación del lado del servidor	Conoce y aplica los tipos de servicios, para lograr interconectividad entre aplicaciones, considerando cómputo en la nube.	

Se evaluó a 34 alumnos de un grupo de 35, el alumno que no fue evaluado y no concluyó el curso expresó que fue por motivos personales, la figura 4 muestra el comportamiento del desempeño de los estudiantes (por motivos de confidencialidad de la información los números de control, y nombres de los involucrados han sido ocultados).

 Formato para el Reporte Parcial de Calificaciones		Responsable:	
		Código:	Página 1/2
		Revisión: 1	
		Emisión:	
Materia: PROGRAMACION WEB		Periodo: 2221	
Grupo: 6g5 A		Estudiantes: 35	
Docente: [Ocultado]		Paquete:	

#	Número Control	Nombre del Alumno	REP	U1	U2	U3	U4	U5	Prom
1	[Ocultado]	[Ocultado]	-	66	73	83	78	85	83
2	[Ocultado]	[Ocultado]	-	88	85	91	87	93	89
3	[Ocultado]	[Ocultado]	-	85	87	85	78	90	85
4	[Ocultado]	[Ocultado]	-	71	83	83	90	80	81
5	[Ocultado]	[Ocultado]	-	87	81	89	78	93	86
6	[Ocultado]	[Ocultado]	-	93	87	82	90	93	89
7	[Ocultado]	[Ocultado]	-	83	84	77	100	93	87
8	[Ocultado]	[Ocultado]	-	95	78	87	80	85	85
9	[Ocultado]	[Ocultado]	-	90	92	85	87	98	90
10	[Ocultado]	[Ocultado]	-	91	83	80	80	78	82
11	[Ocultado]	[Ocultado]	-	79	98	87	90	85	88
12	[Ocultado]	[Ocultado]	-	87	75	82	78	93	83
13	[Ocultado]	[Ocultado]	-	95	99	90	100	93	95
14	[Ocultado]	[Ocultado]	-	90	70	82	87	95	85
15	[Ocultado]	[Ocultado]	-	90	94	98	100	100	96
16	[Ocultado]	[Ocultado]	-	79	87	81	78	90	83
17	[Ocultado]	[Ocultado]	-	82	91	89	100	88	90
18	[Ocultado]	[Ocultado]	-	94	85	90	80	88	87
19	[Ocultado]	[Ocultado]	-	73	92	90	90	90	87
20	[Ocultado]	[Ocultado]	-	83	90	82	100	93	90
21	[Ocultado]	[Ocultado]	-	87	81	85	87	98	88
22	[Ocultado]	[Ocultado]	-	95	99	94	100	93	96
23	[Ocultado]	[Ocultado]	-	87	83	75	80	83	82
24	[Ocultado]	[Ocultado]	-	79	70	71	80	78	74
25	[Ocultado]	[Ocultado]	-	91	84	80	80	88	85
26	[Ocultado]	[Ocultado]	-	95	83	84	87	98	89
27	[Ocultado]	[Ocultado]	-	90	98	95	100	90	96
28	[Ocultado]	[Ocultado]	-	89	86	90	78	88	86
29	[Ocultado]	[Ocultado]	-	95	88	88	100	93	93
30	[Ocultado]	[Ocultado]	-	95	88	81	78	90	88
31	[Ocultado]	[Ocultado]	-	84	93	91	100	93	90
32	[Ocultado]	[Ocultado]	-	90	86	93	100	93	92
33	[Ocultado]	[Ocultado]	-	95	74	85	0	0	0
34	[Ocultado]	[Ocultado]	-	93	98	90	90	90	92
35	[Ocultado]	[Ocultado]	-	95	92	82	78	90	87

Figura 5. Evaluación cuantitativa de la asignatura de Programación Web del semestre enero – junio 2022.

Como se puede observar, y, considerando a los 34 alumnos evaluados se obtuvo el 100% de aprobación, logrando valoraciones por cada tema de 88%, 87%, 86%, 88% y 90% respectivamente, con un promedio general de 88%. Estas valoraciones cuantitativas están vinculadas a una escala niveles de desempeño cualitativos [15], la cual se aprecia en la tabla 6.

Tabla 6. Niveles de desempeño de los estudiantes del Tecnológico Nacional de México [15].

DESEMPEÑO	NIVEL DE DESEMPEÑO	INDICADORES DE ALCANCE	VALORACIÓN NUMÉRICA
Competencia alcanzada	EXCELENTE	Cumple a menos cinco de los indicadores A, B, C, D, E y F	95-100
	NOTABLE	Cumple cuatro de los indicadores definidos en desempeño excelente.	85-94
	BUENO	Cumple tres de los indicadores definidos en el desempeño excelente.	75-84
	SUFICIENTE	Cumple dos de los indicadores definidos en el desempeño excelente.	70-74
Competencia no alcanzada	INSUFICIENTE	No se cumple con el 100% de evidencias conceptuales, procedimentales y actitudinales de los indicadores definidos en el desempeño excelente	NA (No Alcanzada)

En base a los resultados: el 12% consiguieron un nivel EXCELENTE; el 68% de ellos alcanzaron el nivel NOTABLE; a su vez el 18% de los estudiantes lograron el nivel BUENO, mientras que solo 3% obtuvo el nivel SUFICIENTE. El comportamiento del desempeño de los estudiantes se puede apreciar en la figura 6.

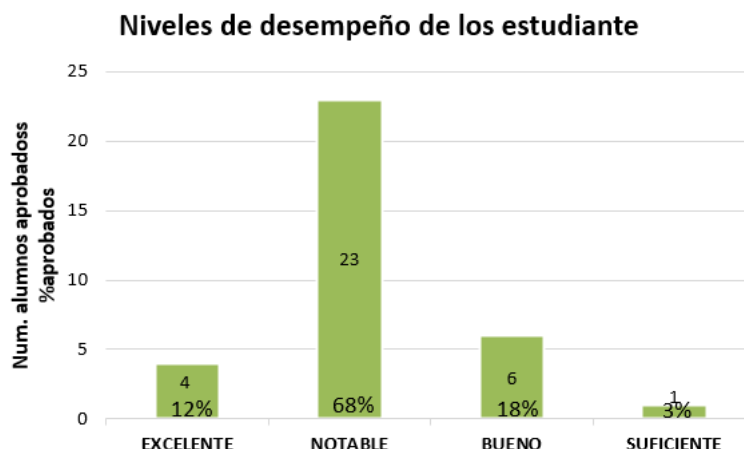


Figura 6. Niveles de desempeño de la asignatura de Programación Web del semestre enero – junio 2022.

Por este motivo, se considera que el aprendizaje basado en proyectos integradores arroja resultados favorables al observar los resultados obtenidos por los estudiantes involucrados en este proceso llegado a desarrollar las competencias propuestas en la asignatura, recalcando que la mayoría tiene un nivel de desempeño NOTABLE.

Adicionalmente, la experiencia de enseñanza-aprendizaje contribuyó a los objetivos Institucionales, al vincular a los estudiantes con situaciones concretas, en las que se aplicaron buenas prácticas de la ingeniería de software como de base de datos, así como empleo de manera adecuada de lenguajes de programación para *frontend* y *backend* en el desarrollo de las aplicaciones Web, contribuyendo así al pensamiento crítico para identificar la problemática, de la misma manera, para formular, diseñar y crear soluciones poniendo en práctica saberes y haceres multidisciplinarios de la ingeniería en sistemas computacionales.

Trabajo a futuro

Indudablemente, llevar a cabo esta estrategia ha suministrado datos suficientes para reflexionar sobre la retroalimentación hacia los estudiantes respecto al proceso de evaluación de ejecución de proyectos integradores. También se observó que los estudiantes han mostrado interés en la dinámica de realización de los proyectos.

Se planteará a las autoridades académicas la ventaja de realizar este tipo de proyectos, para que con su apoyo se considere contar con un banco de proyectos que reflejen las necesidades de la comunidad y permitan facilitar el despliegue de esta estrategia.

En relación con el proceso de evaluación se proyecta diseñar una rúbrica que describa detalladamente los criterios de valoración que sirva como herramienta de apoyo a la guía de observación ya estructurada.

Por último, para resolver el principal reto como lo es la dificultad de comprensión de los requisitos funcionales y no funcionales de las problemáticas propuestas, en la primera semana del plan de trabajo se propone se introducir técnicas de recolección de información mediante entrevistas con los posibles usuarios.

Conclusiones

El aprendizaje basado en proyectos es sin duda una estrategia que motiva a los estudiantes a desarrollar sus habilidades, fomenta su autonomía, favorece el trabajo en equipo al reforzar sus capacidades sociales mediante el intercambio de ideas y colaboración, del mismo modo fomenta la creatividad y el pensamiento crítico de los involucrados. Uno de los riesgos que se presenta es favorecer el trabajo oportunista de los estudiantes; sin embargo, es labor del docente la supervisión efectiva del cumplimiento de las actividades, esto requiere más tiempo de planificación y ejecución de los proyectos [16].

En la actualidad, es un momento propicio para replantear e innovar estrategias que apoyen al proceso enseñanza-aprendizaje. Este trabajo ha mostrado la experiencia docente en diseñar, ejecutar y evaluar proyectos integradores basados en ABP. El objetivo de emprender esta estrategia ha sido detectar oportunidades de mejora de en la enseñanza de la materia de Programación Web.

Finalmente, las tecnologías de información y comunicación han cambiado de manera positiva las formas de trabajo y de relacionarse, estas apoyan el trabajo colaborativo, estimulan el desarrollo el pensamiento crítico y la creatividad, son un soporte para formar profesionistas capaces de gestionar proyectos con autonomía.

Agradecimientos

Agradecemos a los estudiantes que participaron en el curso, mostrando entusiasmo y empeño para completar los proyectos en el tiempo estimado.

Referencias

- [1] B. A. Olivares Zepahua, "Vue Básico," Orizaba, Ver., 2022.
- [2] Universidad de Nuevo México, "Desarrollo de Aplicaciones Web: Conceptos Básicos," Nuevo México, 2020.
- [3] World Wide Web Consortium Standards, "World Wide Web Consortium," 2021. [En línea]. Available: <https://www.w3.org/standards/>. [Último acceso: 16 06 2022].
- [4] Tecnológico Nacional de México, "Proyectos integradores para la formación y desarrollo de competencias profesionales del Tecnológico Nacional de México," Tecnológico Nacional de México, Cd. de México, 2014.
- [5] L. Sesento García, 2017. [En línea]. Available: <https://www.eumed.net/rev/atlanter/2017/06/constructivismo-aula.html>. [Último acceso: 15 06 2022].
- [6] S. Martínez Fernández, C. Gómez y X. Franch, "Aprendizaje basado en proyectos de analítica de software en estudios de ciencia e ingeniería de datos," de *Actas de las Jenui*, Barcelona, 2021.
- [7] E. de Torres, J. Navarro, X. Canalet, D. Amo, J. Malé y X. Solé, "Adaptación de un modelo de aprendizaje basado en proyectos: experiencias en tiempo de confinamiento," Barcelona, 2021.
- [8] C. Dym y et al., "Engineering design thinking, teaching, and learning," *Journal of engineering education*, pp. 103-120, 2015.
- [9] Tecnológico Nacional de México, "Datos Generales de la asignatura Programación Web: AEB-1055," TecNM, Cd. de México, 2016 (Lineamiento del TecNM vigente).
- [10] Tecnológico Nacional de México, "Currículo del programa de estudios de ingeniería en sistemas computacionales," TecNM, Cd. de México, 2016 (Lineamiento del TecNM vigente).
- [11] D. Pérez Ramírez, J. C. Sepúlveda y Y. Oliveros, *Extreme Programming (XP): Aplicación en un caso de estudio*, 2 ed., Editorial Académica Española, 2019.
- [12] E. Chistof, J. Heidrich, L. Williams y et al., "SI: technologies for better software," *IEEE Software*, 2019.
- [13] A. J. Smith, *MySQL: La guía completa de la base de datos más utilizada en el desarrollo del lado del servidor*, Independently Published, 2021.
- [14] Tecnológico Nacional de México, "Programa de estudios: AE055 Programacion Web," TecNM, Cd. de México, 2016 (Lineamiento del TecNM vigente).
- [15] Tecnológico Nacional de Mexico, "Lineamiento para la Evaluación y Acreditación de Asignaturas," TecNM, Cd. de México, 2010 (Lineamiento del TecNM vigente).
- [16] C. Sotomayor, C. Vaccaro y A. Téllez, *Aprendizaje basado en proyectos: Un enfoque pedagógico para potenciar los procesos de aprendizaje hoy*, Santiago de Chile: Fundación Chile, 2021.

Aprendizaje basado en proyectos para la asignatura de reactores

F. Caballero¹, A. M. A. Romero Pérez¹, M. A. Pérez Fajardo¹, J. A. Granados Olvera², G. Ramírez Dámaso³,

¹Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza C. II, Universidad Nacional Autónoma de México, Batalla 5 de mayo s/n, Col. Ejército de Oriente, C.P. 09320, Iztapalapa CDMX, México.

²Universidad Politécnica de Cuautitlán Izcalli Ex Hacienda de Santa María Guadalupe, Guadalupe Tepojaco, San Francisco Tepojaco, 54760 Cuautitlán Izcalli, EDOMEX, México.

³ESIA Unidad Ticomán, IPN, Av. Ticomán No. 600, Col San José Ticomán, CP 07340, GAM, CDMX, México.

*xymox@unam.mx

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

Este trabajo expone una serie de estudios y análisis a implementarse en la asignatura de Ingeniería de reactores. La actividad se conoce como Aprendizaje basado en proyectos (ABPy); para llevar a cabo la actividad se plantean los balances de materia y energía en un reactor de tanque agitado continuo (RTAC) de naturaleza no adiabática y no isotérmica, además, en este primer trabajo se considera una reacción exotérmica. El estudio contempla el análisis de los parámetros en cada uno de los balances mencionados. El esquema realizado en este trabajo permite considerar elementos de evaluación como: investigación de parámetros, generación de códigos para la resolución de la(s) ecuación(es), análisis de sensibilidad de parámetros, esquemas a estado estacionario con arranque del RTAC y redes de RTAC's. La cantidad de trabajo que se puede generar en este esquema crece de manera exponencial, sin embargo, la guía del profesor y su habilidad para estratificarlo es crucial.

Palabras clave: RTAC (Reactor de tanque agitado continuo), Aprendizaje basado en proyectos, Balances de materia y energía con reacción química, análisis de sensibilidad de parámetros.

Abstract

This work exposes a series of studies and analyzes to be implemented in the subject of Reactor Engineering. The activity is known as Project-Based Learning (PBL); To carry out the activity, the material and energy balances are proposed in a continuous stirred tank reactor (CSTR) of a non-adiabatic and non-isothermal nature, in addition, in this first work an exothermic reaction is considered. The study includes the analysis of the parameters in each of the balances mentioned above. The scheme carried out in this work allows considering evaluation elements such as: parameter investigation, generation of codes for the resolution of the equation(s), parameter sensitivity analysis, steady-state schemes with CSTR start-up and networks of CSTR's. The amount of work that this scheme can generate grows exponentially, however, the teacher's guidance and ability to layer it is crucial.

Key words: CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor), Project Based Learning, Material and Energy Balances with Chemical Reaction, Parameter Sensitivity Analysis.

Introducción

La pandemia del COVID 19 ha revelado las deficiencias que se presentan en distintas actividades que pudieran considerarse como trabajos sistemáticos; trabajos que se desarrollaban sin ningún problema, mostraron sus deficiencias en la crisis mencionada. Es innegable que el Proceso enseñanza aprendizaje no estaría exento de esta situación.

Los cursos que se implementaron con anterioridad no fueron considerados en el rigor necesario y por tanto hubo deficiencia y situaciones innumerables que se respondieron de una manera improvisada. Lo lamentable fue que, sí había recursos para afrontar la situación, sin embargo, no se consideraron importantes, siempre se han impartido cursos, pero la falta de planeación e interés cobraron factura.

Lo único claro es la necesidad de implementar recursos. Actualmente se diluye la etapa de oscurantismo y se pueden realizar más actividades; pues las experiencias vividas permitirán generar recursos de manera expedita.

En este sentido la enseñanza de la Ingeniería química se destaca por el planteamiento de los balances de materia y energía que dan el origen a todo proceso; existe una jerarquía y puede considerarse que desde el reactor químico se generan las diversas operaciones que, como fichas de dominó, se van agregando para formar una ruta que permite transformar a la materia prima en diversos productos y especialidades químicas.

Bajo este marco, se partió de la generación de los balances de materia y energía en un RTAC de naturaleza no adiabática y no isotérmica. Las variables y parámetros que integran los balances fueron sujetos de estudio bajo el marco de los conceptos del aprendizaje basado en proyectos. Se pretende que este esquema pueda implementarse en la asignatura de ingeniería de reactores (IR) impartida en la FES Zaragoza en el octavo semestre de la carrera de Ingeniería Química.

En FES Zaragoza, la asignatura de IR se cursa en el 8vo semestre, e integra el módulo de diseño de procesos conformado por las asignaturas de ingeniería de procesos, dinámica y control de proceso así como con el laboratorio y taller de proyectos. Por tanto, la alternativa se puede enriquecer y orientarse hacia estas asignaturas que conforman el módulo.

Los párrafos anteriormente discutidos representan la introducción del presente trabajo, de la misma manera se definen las principales características del aprendizaje basado en proyectos y se describe como el análisis de un reactor puede generar una serie de estudios específicos y orientados a distintas metas. La asignación de estos proyectos a grupos de estudiantes, consideran el enfoque de aprendizaje basado en proyectos.

Aprendizaje basado en proyectos

El presente trabajo considera aspectos importantes para implantar nuevas metodologías de educación, que permitan desarrollar habilidades en la resolución de problemas en forma de trabajo colaborativo, en la toma de decisiones y la adaptabilidad. De esta manera, los objetivos principales del proceso de enseñanza aprendizaje no solo se definen de mejor manera, también consideran la formación de profesionales capaces de interpretar los fenómenos que ocurren en la naturaleza a través de implementar métodos acordes al tamaño del problema y como bien menciona Perez [1]:

“Se busca que el estudiante vaya más allá de la memorización de conceptos o teorías y pueda analizar e interpretar el mundo de forma crítica y responsable”.

Estos proyectos se fundamentan en casos que se pueden encontrar en la vida diaria. Así pues, se permite al educando aproximarse al mundo real, aplicando los conceptos teóricos desde un punto de vista práctico [2]. No es una actividad adicional al aprendizaje, sino su fundamento. También procura que los educandos tengan mayor responsabilidad y se apropien de su aprendizaje; creciendo intelectualmente y encaminándolos a rescatar, analizar y aplicar lo que aprenden como una herramienta para resolver problemas y tareas [3].

La importancia de este modelo de aprendizaje es sistematizar una serie de pasos para llevar a cabo una aplicación exitosa, en este sentido, uno de los procedimientos más accesibles y fáciles de seguir, lo presenta la iniciativa PLANEA de UNICEF [4], que estipula seis pasos necesarios para enseñar, aprender y promover el bienestar de estudiantes y docentes en la escuela; basado en una educación inclusiva y de calidad que forme a los adolescentes en saberes y habilidades críticas para su vida en el Siglo XXI. Aquí, se muestran las fases:

1. **Presentación del desafío.** - En esta fase se presenta el proyecto a los alumnos. El desafío puede plantearse como un pedido de alguna institución, de la escuela misma (“necesitamos rediseñar el patio”) o de alguna organización del barrio o ciudad, y debe ser lo más auténtico y vinculado con el mundo real posible. Habrá que pensar y planificar una presentación atractiva y estimulante, para que se genere una motivación inicial en los estudiantes y se mantenga el interés por el proyecto.

2. **Análisis de conocimientos previos y necesidades.** - En esta fase se indagan los conocimientos que ya tiene el alumnado sobre el tema, y detectan posibles conflictos cognitivos. Se debe contemplar, en el diseño del proyecto, una o dos actividades con este objetivo.
3. **Planificación y organización.** - Se establece aquellas tareas que son útiles para planificar el trabajo y trazar su organización. Esta fase es fundamental para reforzar la idea de planificación en la búsqueda de información. Las tareas de organización sirven para que el alumnado entienda la necesidad de preparar las acciones que deben realizarse para resolver con éxito las tareas complejas.
4. **Búsqueda y síntesis de información.** - En este momento del proceso, se empieza a investigar y construir nuevos conocimientos. Esta fase puede ser desde muy libre (los alumnos investigan y sintetizan información por su cuenta) hasta muy guiada (todas las actividades de investigación son propuestas por los docentes y los alumnos las realizan a la misma vez), pudiendo situarse en medio de este espectro o combinando elementos. Los docentes van acompañando el proceso realizando explicaciones cuando son necesarias y ayudando a sistematizar lo aprendido.
5. **Elaboración del producto final.** - Con los nuevos conocimientos ya adquiridos, el alumnado está preparado para materializar su respuesta al desafío: la elaboración de su producto final. Esta fase puede ser de larga o corta duración, dependiendo del énfasis que se le quiera dar al producto final y de las características de éste. Idealmente, se busca que el proyecto se vaya construyendo paulatinamente a lo largo de las semanas de trabajo. El tiempo de elaboración del producto final se debe tener en cuenta en la planificación del proyecto, ya que es un proceso que suele llevar tiempo y es muy valioso que lo puedan elaborar en clase, con el apoyo de los docentes.
6. **Presentación del producto final.** – En esta fase, los equipos presentan sus producciones a un público que puede incluir a las familias, compañeros, otros representantes de la comunidad, incluso instituciones externas a la escuela. Los alumnos exhiben su trabajo y responden a preguntas del público [3].

Lo anterior sugiere desarrollar la actividad de aprendizaje basado en proyectos orientada a la asignatura de ingeniería de reactores. Este objetivo demanda el desarrollo de la siguiente metodología:

Metodología

1. **Presentación del desafío.** En la figura 1 se muestra un RTAC con su chaqueta, se considera plantear el desafío en clase: Sea un modelo no isotérmico, no adiabático de un (RTAC), donde una reacción de primera orden se lleva a cabo, se considera que la reacción es fase líquida, con un volumen ideal que no cambia por la composición, la reacción es exotérmica, y por tanto se retira calor a partir de una chaqueta que circunda la pared del reactor donde el mezclado es perfecto al igual que en el interior del reactor. Los flujos en el interior del reactor y por la parte de la chaqueta serán constantes, así como sus propiedades.
2. **Análisis de conocimientos previos y necesidades** Una vez presentado el desafío, se deben desarrollar actividades de sensibilización y aspectos teóricos, para asegurar que los estudiantes partan de una nivelación de conocimientos. Para este caso en particular, el modelo en cuestión puede plantearse a partir de la ecuación general de balance con término de acumulación:

$$\text{Acumulación} = \text{Entradas} - \text{Salidas} + \text{Generación} - \text{Consumo} \quad (1)$$

En esta fase, la actividad cognitiva por excelencia es el planteamiento de los balances por parte de los alumnos, en este caso son 3: Balance de materia en el reactor (ecuación. 2), Balance de energía en el reactor (ecuación 3) y el balance de energía en la chaqueta (ecuación. 4). Ver figura 1 para plantear los balances.

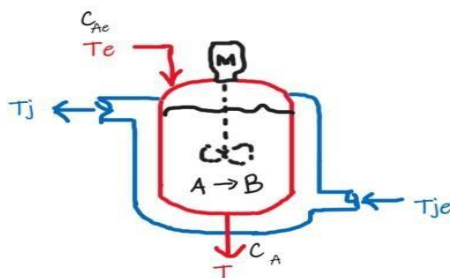


Figura 1. Figura del RTAC a presentarse como reto a los estudiantes.

$$V \frac{dC_A}{dt} = FC_{Ae} - FC_A - V \left[k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}} \right] C_A \quad (2)$$

$$V \rho C_p \frac{dT}{dt} = F \rho C_p T_e - F \rho C_p T + (-\Delta H_r) V \left[k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}} \right] C_A - UA(T - T_J) \quad (3)$$

$$\rho_J C_{pJ} \frac{dT_J}{dt} = F_J \rho_J C_{pJ} T_{Je} - F_J \rho_J C_{pJ} T_J + UA(T - T_J) \quad (4)$$

El apoyo y acompañamiento a los alumnos por parte del docente es a partir de realizar las siguientes reflexiones: Hacer énfasis que la expresión de velocidad de reacción es el producto de la ecuación de Arrhenius (expresión en corchetes, *ec. 2 y 3*) multiplicada por la concentración. Este término, es de una naturaleza no lineal. Se debe mencionar también, la importancia de agregar $-\Delta H_r$ (*tercer término lado derecho* que establece una reacción exotérmica, *ec. 3*), que, colocado de esta manera, se convierte en un valor positivo que hace juego con el efecto físico, es decir una reacción exotérmica genera calor y por tanto se debe observar un aumento en la temperatura. Finalmente, este término se encuentra en sintonía con el último término de la ecuación 3: $-UA(T - T_J)$, el signo menos indica retiro de calor mediante la chaqueta y es necesario porque la generación de calor por la exotermicidad de reacción es positiva, la explicación de estos térmicos y su interrelación pueden verificarse al realizar simulaciones, que seguramente lograrán el aprendizaje significativo en los alumnos.

3. **Planificación y organización.** En este punto es vital la búsqueda de información, en la tabla 1 se presentan todos los parámetros necesarios para correr la simulación (en la columna 3 se encuentra todos los parámetros para ejecutar la simulación).

En la tabla 1 existe otra columna de datos; (ver columna) que representa la producción de propilenglicol. También puede consultarse el trabajo de Wallam y Memon [7], Nikolić et. al [8] que contienen balances para dos especies y están escritos de forma adimensional. Esto también se convierte en un reto.

Resultados y discusión Primeros resultados

A continuación, se vinculan los resultados con la fase 4 de la iniciativa PLANEA [4]:

4. **Planificación y organización.** En esta fase los alumnos investigan diferentes reacciones y los parámetros necesarios para ejecutar el sistema (2-4). Por ejemplo, los alumnos pueden considerar más balances de materia pues la reacción que seleccionen puede contener más de una especie. De este modo, las modificaciones y consideraciones construyen nuevos conocimientos. Esta es la intención de presentar los resultados con los valores de los parámetros de la tabla 1 columna 3.

En la figura 2 se muestra el arranque del reactor (y que responde a la fase 4), se puede identificar porque la concentración al tiempo 0 es cero y posteriormente el ingreso del reactivo al reactor, (identificado como C_{A1} , figura 2a) donde la adición de la especie A, provoca primeramente una acumulación del reactivo y posteriormente se observa una disminución vertiginosa, hasta un tiempo aproximado de 2.5 hrs.

Tabla 1. Valores utilizados de los parámetros utilizados para simular el modelo (2-4). Tomado/Adaptado de [5,6].

Parámetro	Definición	Valores	Unidades	Valores*
F V	Flujo volumétrico	40	ft ³ /h	
	Volumen de la mezcla reaccionante	48	ft ³	V/F=0.25
C _{Ae}	Concentración del reactivo en la entrada	0.5	lb-mol/ ft ³	0.132
k ₀	Factor de frecuencia	2x7.08x10 ¹⁰ *	h	16.96x10 ¹²
E _a	Energía de activación	30000	BTU/(lb-mol)	32400
R	Constante universal de los gases ideales	1.99	BTU/(lb-mol -R)	1.99
ρ C _p	densidad	50	lb/ ft ³	
	Calor específico	0.75	BTU/(lb-R)	ρC _p =53.25
T _e	Temperatura de ingreso al reactor	530	R	
-ΔH _r	Entalpia de reacción	30000	BTU/(lb-mol)	39000
U	Coefficiente global de transferencia de calor	150	BTU/(h-ft ² -R)	75
A	Área de transferencia de la chaqueta	50	ft ²	
V _J	Volumen de fluido en la chaqueta	3.85	ft ³	
T _{Je}	Temperatura de entrada en la chaqueta	530	R	
F _J	Flujo volumétrico en la chaqueta	49.9	ft ³ /h	
ρ _J	Densidad del fluido en la chaqueta	1.0	lb/ ft ³	
C _{pJ}	Calor específico del fluido en la chaqueta	62.3	BTU/(lb-R)	

*Aunque en esta columna se incluyen relaciones de parámetros sus unidades son consistentes de acuerdo la columna 4 Para más resultados de parámetros consultar, la cantidad marcada en amarillo indica una modificación en los parámetros de la literatura [5], donde el valor original se multiplicó por 2.

De manera paralela se observa que, cuando no hay reacción la temperatura permanece sin modificaciones importantes hasta llegar aproximadamente a 2.5 h donde el aumento de la temperatura es visible (Fig. 2b) y ocurre al mismo tiempo que la abrupta caída de la concentración (Fig. 2a), la exotermicidad de la reacción provoca el súbito aumento de temperatura y arrastra al enfriamiento (línea verde de la figura 2b). De hecho, se observa la sincronía del calor generado por la reacción y el calor eliminado con la chaqueta.

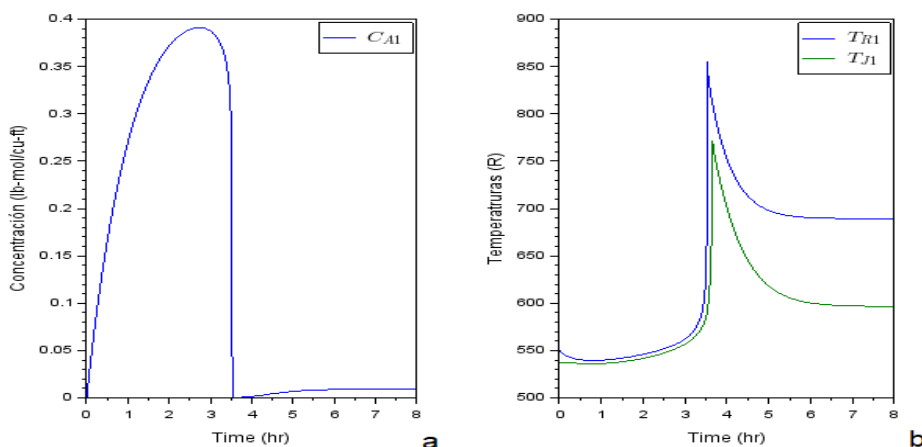


Figura 2. Simulación del arranque del reactor, la Fig. 2a muestra el comportamiento de la concentración (C_{A1}) y la Fig. 2b representa el comportamiento de la temperatura en el interior del reactor (T_{R1}), también se observa la temperatura en la chaqueta (T_{J1}).

Se evalúa de forma final el comportamiento del reactor a 5 o más horas donde se ha alcanzado el régimen permanente; es importante mencionar que la alimentación al reactor continúa, pero las derivadas son iguales a cero, por el comportamiento constante, así que se comprueba que la conversión en el Reactor tiende al 100%. A las 5 horas de operación y, a menos que ocurra otra cosa, el proceso se mantiene en condiciones de alta producción.

Segundos resultados.

Basado en la Fig. 3 se presenta un segundo reto, se tiene un arreglo de dos reactores idénticos. Los arreglos se describen a detalle en la figura 3 y ahí mismo se describen sus similitudes y diferencias, en este esquema, los reactores siempre trabajan en serie, pero el enfriamiento por la chaqueta trabaja en: a) de manera paralela (Fig 3.a); b) en serie con los reactores (Fig. 3b) y c) en contracorriente con los reactores (Fig. 3c).

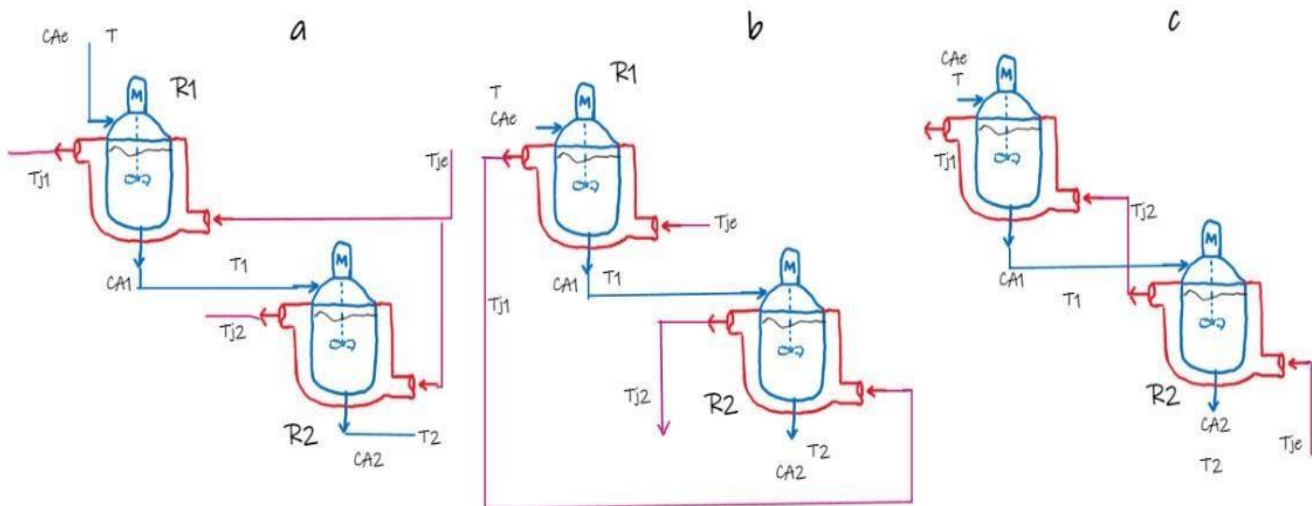


Figura 3. Redes reactores: a). Reactores en serie, chaquetas en paralelo. b). Reactores en serie y chaquetas en serie para un arreglo en paralelo. c). Reactores en serie chaquetas en serie para un arreglo en contracorriente.

En la figura 4 se describen los comportamientos de las redes de reactores, se describe primeramente el arreglo de la figura 3a, (figura 4a y 4b, respectivamente) se observan tiempos de reacción similares para el primer y segundo reactor, esto se debe a que la temperatura de entrada del fluido de enfriamiento en ambas chaquetas es la misma, bajo estas circunstancias, hay mayor acumulación en el primer reactor, y la caída súbita de la concentración arroja una elevada temperatura, y, como la salida del primer reactor ingresa al segundo equipo, este último ya no incrementa tanto su temperatura y tampoco se acumula tanto reactivo, además, el tiempo para alcanzar el régimen permanente es de 5 hrs.

Si se comparan los resultados con el segundo arreglo (figura 4c y 4d), se observa un mejor desempeño para el segundo reactor, se manifiesta que no hay mejora para el primer reactor esto es, porque el arreglo es en serie; se puede apreciar que el segundo reactor acortó su tiempo para obtener el régimen permanente en 3.3 horas.

Finalmente se observa el tercer arreglo en serie, pero a contracorriente con la temperatura de entrada en la chaqueta (T_{je}) como se aprecia en el arreglo de la figura 3c y sus comportamientos en las figuras 4e y 4f; el acoplamiento mencionado permite disminuir los tiempos en ambos reactores alcanzando el régimen permanente en aproximadamente tres horas.

Por si fuera poco, hay otro reto y consiste en recircular la corriente del efluente del reactor y se puede evaluar distintas razones de recirculación. Esta sugerencia no fue analizada en este trabajo.

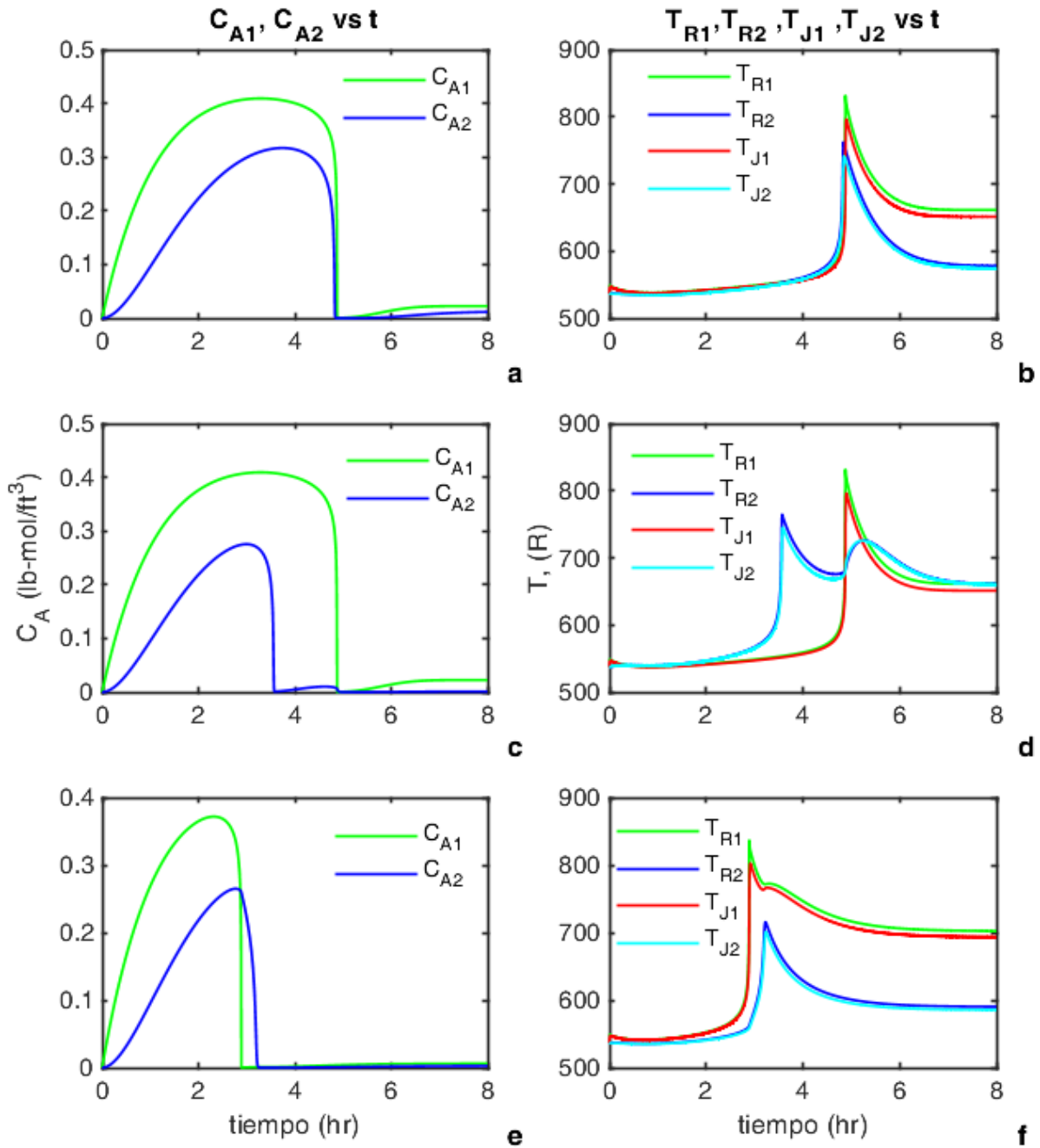


Figura 4. Redes reactores: a, b.- Rectores en serie, chaquetas en paralelo (Fig. 3a); c, d.- Reactores en serie y chaquetas en serie para un arreglo en paralelo (Fig. 3b); e, f.- reactores en serie chaquetas en serie para un arreglo en contracorriente (Fig. 3c).

Terceros resultados.

Los resultados observados son una pequeña muestra de todo un trabajo sistemático que puede llevarse a cabo; en el esquema se pueden observar una serie de efectos que van desde parámetros cinéticos y termodinámicos hasta arreglos y formas adimensionales del reactor o red de reactores.

Como sugerencias muy evidentes pueden modificarse tanto el coeficiente global de transferencia de calor como el área de transferencia, se puede trabajar con las condiciones iniciales, linealizar las ecuaciones entre otras cosas no comentadas hasta este momento.

Como puede apreciarse en la figura 5 existe mucho trabajo significativo, el mapa sugiere un trabajo de alto reto que es colocar la densidad, la capacidad calorífica y la entalpía de reacción como función de la temperatura y conversión, la cantidad de resultados y discusión crece exponencialmente, para mayor detalle, puede consultarse el libro de Fogler [9], pero únicamente en la tercera edición de este texto, aparece cómo establecer estos parámetros en función de la temperatura y conversión.

Se reconoce que, tanto la elaboración como la presentación del trabajo final (pasos 5 y 6 de la iniciativa PLANEA), ya no se describen pues son las actividades que serán desarrolladas por los alumnos. Se considera que el documento se presenta como acompañamiento a los alumnos, quienes deben ser capaces de desarrollar todo el conjunto de la iniciativa PLANEA. Finalmente, la figura 5 puede sugerir todo el trabajo que puede surgir en el estudio profundo del RTAC

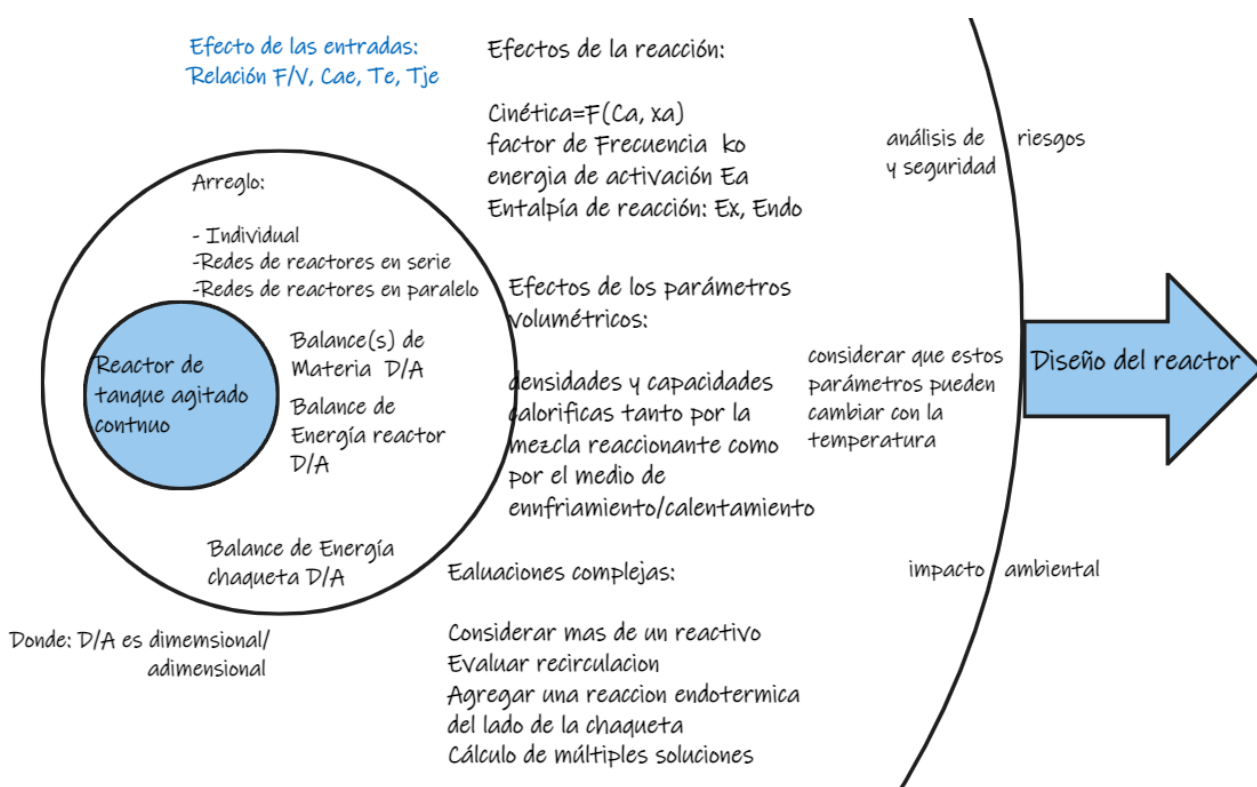


Figura 5. Diversas rutas que puede considerar el proyecto.

Trabajo a futuro

El docente se mantiene siempre en constante cambio, sin embargo, la experiencia y el dominio a lo largo de los años ha permitido que siga en esta dinámica, aunque el mal hábito de no escribir y evidenciar estas actividades hace que se pierdan muchas experiencias que algunos docentes han logrado sembrar. Como ha manifestado Guerra [10] a lo largo de sus trabajos: "la educación en ingeniería debe cambiar hacia un plan de estudios orientado a la acción e implementar pedagogías de aprendizaje centradas en que el estudiante obtenga experiencias constructivas y transformadoras, como el aprendizaje basado en el lugar, el aprendizaje basado en la indagación, el aprendizaje basado en problemas (PBL), el aprendizaje descubrimiento, el aprendizaje basado en casos CDIO, (concebir, diseñar, implementar, operar) y finalmente el aprendizaje basado en la comunidad". De este modo, se asegura orientar el trabajo educativo a estas tendencias.

Conclusiones

Sin importar la institución donde se curse; la asignatura de ingeniería de reactores es conocida por su extensión; en este sentido se ofrece esta propuesta para desarrollar aprendizaje basado en proyectos y se sugiere considerar a la figura 5 como una plantilla que puede explotarse de muchas maneras posibles, además el trabajo a desarrollar puede crecer en una manera exponencial, aunque la limitación será analizada tanto por el profesor como los alumnos.

En la FES Zaragoza, de acuerdo con el plan de estudios, en el octavo semestre se cursa la asignatura de ingeniería de reactores en un plan de naturaleza modular, así que existe la posibilidad de reforzar los conocimientos utilizando la asignatura de Laboratorio y Taller de proyectos y de este modo, complementar el estudio no solo de reactores, también puede ser posible, relacionarlo con asignaturas como dinámica y control de proceso e ingeniería de procesos.

Por otro lado, en cuanto al rol docente, este modelo de aprendizaje exige que el profesor sea un guía, que estimule a los estudiantes a aprender, descubrir y sentirse satisfechos por emitir juicios acordes a las teorías que son el sujeto de estudio. Queda a meditar que los logros se pueden presentar de manera natural al aplicar correctamente el aprendizaje basado en proyectos; y debe plantearse como una inversión en el proceso de enseñanza aprendizaje.

Aunque en diversas circunstancias esta actividad se puede confundir con el aprendizaje basado en problemas. La singularidad del ABPy es la construcción de un producto final, un 'artefacto concreto' que representa los nuevos entendimientos, conocimientos y actitudes de los estudiantes con respecto al tema que se investiga, a menudo presentado mediante videos, fotografías, bocetos, informes, maquetas y otros artefactos coleccionados [10].

Agradecimientos

A DGAPA UNAM por el soporte financiero en el proyecto PAPIIT IN112122.

Referencias

- [1] M. M. Perez. Aprendizaje basado en proyectos colaborativos. Una Experiencia en Educación Superior. *Laurus*, 14(28), 158-180. (2019).
- [2] S. Martón, J. Gallardo, S. Villanueva, A. Alberola, A. Sánchez, Aprendizaje basado en proyectos en el Grado en ingeniería de la energía. Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 978-84-9048-522-4, 981-989, 2019. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7390430>
- [3] G. Flores, E. Juárez, Aprendizaje basado en proyectos para el desarrollo de competencias matemáticas en Bachillerato. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 19(3), 71-91 2017. <https://doi.org/10.24320/redie.2017.19.3.721>
- [4] UNICEF, Proyectos PLANEA (2020) Aprendizaje basado en proyectos. Enfoque general de la propuesta y orientaciones para el diseño colaborativo de proyectos. 2020. <https://www.unicef.org/argentina/media/7771/file>
- [5] M. Shacham, M. B. Cutlip, N. Brauner. From Numerical Problem Solving to Model-Based Experimentation Incorporating Computer-Based Tools of Various Scales Into the ChE Curriculum. *Chemical Engineering Education*, 43(4), 315-321. 2009.
- [6] M. A. Siddiqui, M. N. Anwar, S.H. Laskar, Control of nonlinear jacketed continuous stirred tank reactor using different control structures, *Journal of Process Control*, 108, 112-124, 2021.
- [7] F. Wallam, A. Y. Memon, A robust control scheme for nonlinear non-isothermal uncertain jacketed continuous stirred tank reactor, *Journal of Process Control*, Volume 51, 55-67, 2017,
- [8] D. Nikolić, A. Seidel-Morgenstern, M. Petkovska. Periodic Operation with Modulation of Inlet Concentration and Flow Rate. Part I: Nonisothermal Continuous Stirred-Tank Reactor. *Chem. Eng. Technol.*, 39: 2020-2028. 2016. <https://doi.org/10.1002/ceat.201600185>
- [9] H. S. Fogler, *Elements of Chemical Reaction Engineering* 6th Ed. Pearson, New Jersey, 2020.

- [10] Guerra, "Integration of sustainability in engineering education: Why is PBL an answer?", International Journal of Sustainability in Higher Education, vol. 18, no. 3, pp.436-454, 2017.
<https://doi.org/10.1108/IJSHE-02-2016-0022>

Anexo A

Código en Scilab para simular el RTAC de la figura .4.

Se adjunta link para descarga del software: [Scilab 6.1.1](#) | [ESI Group](#)

```
// se declara la función con las ecuaciones diferenciales y los parámetros function
ydot=f(t, y)
// Renombrar variables para facilidad en el codificado CA1=y(1);
CA2=y(2);
T1=y(3);
T2=y(4);
Tc1=y(5);
Tc2=y(6);
// PARÁMETROS CONSTANTES
F=40; Cao=0.5; V=48;
Fj=49.9; Vj=3.85; ko=2*7.08e10;
E=30000; R=1.99; U=150;
A=50; Tjo=530; To=530; DH=30000;
Cp=0.75; Cpj=1; rho=50; rhoj=62.3;

// ecuaciones diferenciales a resolver (balances) acomodados en forma de columna ydot=[(F/V)*(Cao-
CA1)ko*exp(-E/(R*T1))*CA1;
(F/V)*(CA1-CA2)-ko*exp(-E/(R*T2))*CA2;
(F/V)*(To-T1)+((DH*ko*exp(-E/(R*T1))*CA1)/(rho*Cp))-((U*A*(T1-Tc1))/(rho*Cp*V));
(F/V)*(T1-T2)+((DH*ko*exp(-E/(R*T2))*CA2)/(rho*Cp))-((U*A*(T2-Tc2))/(rho*Cp*V));
(Fj/Vj)*(Tjo-Tc1)+((U*A*(T1-Tc1))/(rhoj*Cpj*Vj));
(Fj/Vj)*(Tjo-Tc2)+((U*A*(T2-Tc2))/(rhoj*Cpj*Vj)]; endfunction

// Inicia la simulación de los balances

y0=[0;0;550;537;537;537]; // condiciones iniciales t0=0;
// tiempo inicial t=0:0.0005:8; // tamaños de paso
de integración x = ode(y0,t0,t,f); // propiamente la
rutina de integración
//plot(t',y') subplot(1,2,1) // graficar los
resultados
plot(t',[x(1,:),x(2,:)]),
e=gce();e.children.polyline_style=2;
L=legend('$C_A_1$', '$C_A_2$');L.font_size=3; ylabel('Concentración
(lb-mol/cu-ft)')
xlabel('Time (h)') subplot(1,2,2)
plot(t',[x(3,:),x(4,:),x(5,:),x(6,:)]),
e=gce();e.children.polyline_style=2;
L=legend('$T_R_1$', '$T_J_1$', '$T_R_2$', '$T_J_2$');L.font_size=3;
ylabel('Temperaturas (R)') xlabel('Time (h)')
```

Las representaciones sociales como estrategia de aprendizaje en los alumnos de Ingeniería en Gestión Empresarial

J. M. García Mejía^{1*}, I. R. Mendoza Sánchez², I.A. Guillén Rendón³, E. O. Ramírez Vaquero¹, C. G. Vargas Gutiérrez¹,

¹Departamento de CEA, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tehuacán, Libramiento Tecnológico s/n, Santa María Coapan, C.P. 75770

² Centro Escolar "Presidente Venustiano Carranza". 6 Poniente 216, Jacarandas, C.P. 75730, Tehuacán, Puebla,

³Departamento de Desarrollo de Negocios. Universidad Tecnológica de Tehuacán, 1 sur No. 1101, San Pablo Tepetzingo, C.P. 75859
*posgrados10@hotmail.com

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

La presente investigación tiene como finalidad valorar las Representaciones Sociales con enfoque en el reconocimiento de las experiencias educativas en su proceso de formación de los estudiantes y el impacto en su aprendizaje como consecuencia de la educación a distancia, generado por la pandemia del COVID-19. A través de una metodología de investigación mixta y utilizando como técnica a la encuesta virtual dirigida al total de estudiantes del turno vespertino del último año de un bachillerato oficial y aspirantes a ingresar a la ingeniería en gestión empresarial del tecnológico de Tehuacán. Los resultados mostraron que a partir de las representaciones que los jóvenes configuraron al exponerse a situaciones académicas diferentes a través de los medios de comunicación, redes sociales y educación a distancia novedosa, para dar continuidad a sus procesos académicos tuvo un impacto diferenciado en su aprendizaje, el cual debe ser aprovechado en su formación académica de la licenciatura.

Palabras clave: representaciones sociales, formación, experiencias educativas, aprendizaje.

Abstract

The purpose of this research is to assess Social Representations with a focus on the recognition of educational experiences in their student training process and the impact on their learning as a consequence of distance education, generated by the COVID-19 pandemic. Through a mixed research methodology and using as a technique the virtual survey aimed at the total number of students in the evening shift of the last year of an official high school and applicants to enter engineering in business management of the Tehuacán technology. The results showed that from the representations that young people configured when exposed to different academic situations through the media, social networks and novel distance education, to give continuity to their academic processes had a differentiated impact on their learning, which should be used in their academic training of the degree.

Key words: social representations, training, educational experiences, learning.

Introducción

En los últimos años se han diversificado los estudios en torno a las Representaciones Sociales (RS) de los agentes educativos, los cuáles se han mejorado en cuanto a sus alcances metodológicos y sus aplicaciones prácticas. El estudio que se presenta tiene como finalidad analizar las RS, en el proceso de la educación a distancia del ciclo escolar 21-22, de los alumnos inscritos en los 2 grupos de 6to. Semestre del bachillerato Vespertino del "Centro Escolar Presidente Venustiano Carranza" (CEPVC) de Tehuacán Puebla, que ingresarán a Ingeniería en Gestión Empresarial (IGE) que oferta el Instituto Tecnológico de Tehuacán (ITT); a fin de

aprovechar los resultados de la investigación en un escenario de mejora para que el aprendizaje de dichos estudiantes de nuevo ingreso sea el óptimo y continuarlo durante su estancia formativa en la escuela. Un alto porcentaje de los egresados de ese bachillerato se inscribe en las carreras del I. T. T. (de acuerdo a las estadísticas de ingreso que reportó Control Escolar en los últimos 3 periodos), es por ello que es una necesidad aprovechar el efecto de la educación a distancia puesto que hay incertidumbre en relación a la continuidad de la impartición de clases de forma híbrida, como estrategia educadora del gobierno federal.

No necesariamente existe una representación social (RS) para cada objeto sino puede dar lugar a una variante agregada de opiniones no necesariamente conectada entre ellas; así como no todos los grupos sociales deben, por obligación estar en una representación particular de un objeto. Además, las RS son productos que están interactuando en la mente y que pueden ser abordados desde una perspectiva individual o social. Desde lo individual, se apoyan en las pertenencias sociales, el lugar ocupado y mantenido en las relaciones sociales, los intercambios suelen ser del tipo intersubjetivos. Desde lo social, se corresponden con las visiones comunes a una formación sociocultural [1].

Las RS permiten obviar el proceso de circulación y apropiación social del conjunto de imágenes, valores, actitudes y saberes que estructuran y dan forma al sentido común de las cosas, con lo que se obtiene una propuesta simbólica poco homogénea de la sociedad estudiada; así, las representaciones sociales reconocen el hecho de que el conocimiento es social desde sus orígenes y no solo es producto de un esfuerzo aprendido individual, es decir, apoyada en su sistema de representaciones implícitas en su discurso y en los actos de comunicación [2]. El modelo sociodinámico es un enfoque de novedad en el desarrollo de la teoría de las RS, y que, de acuerdo a diversos autores, se reconoce como principal exponente de este enfoque a W. Doise, quien afirma que las representaciones pueden contemplarse dentro de una dinámica social, y mediante reportes de comunicación, hace posible ubicar a los actores sociales en casos de interacción [3].

Ante la contingencia de la Covid-19, en Marzo del 2020 la instrucción de la autoridad educativa central fue la de llevar a efecto la educación en casa y a distancia, donde las actividades escolares debían continuar, por lo que se implementó la educación a distancia que podría ser en línea o por medio de TV, los supervisores, directores, maestros, personal administrativo dispusieron de la estrategia de comunicación viables a las circunstancias del su contexto, mismas que fueron propuestas para tener comunicación sobre todo con los alumnos, la entrega de trabajos y orientación se harían a través de los medios de comunicación al alcance de los estudiantes: redes sociales como Facebook, WhatsApp, correo electrónico, plataformas como Classroom, Moodle, Microsoft Teams, entre otras.

La investigación reafirma que la educación virtual tiene también sus bondades, pero ésta modalidad no cumple con su objetivo si el estudiante no tiene disposición para realizar las actividades que se le recomiendan, sus comportamientos son producto de las ideas que generaron al respecto de las circunstancias que vivieron en la contingencia y experiencias de aprendizaje; por ello, no solo basta con reconocer sus pensamientos, sino también de cómo éstos adquirieron significancia para interpretar información, desarrollar competencias, habilidades socioemocionales y la puesta en práctica de las mismas en los escenarios de este nuevo panorama educativo. La configuración de la representación en torno a la relación familia-escuela que circula entre los sujetos se forja sobre la base de la asignación de determinados roles parentales en materia educativa, así como por los roles que asignan al profesorado. La finalidad es que es socialmente útil, por lo que las representaciones sociales constituyen guías de lectura, de decodificación y por lo tanto de comprensión de la realidad a la cual nos enfrentamos.

Se puede decir entonces, que son socialmente útiles e intervienen masivamente cuando tenemos intercambios de grupos. La representación de construcción social de la realidad hace referencia a la predisposición fenomenológica de los individuos al considerar los procesos subjetivos como realidades objetivas [4]. La educación superior, por supuesto, no ha sido una excepción. A nivel global, nacional y local, el impacto es similar a otras actividades humanas y también asume formas particulares por las características específicas de las actividades docentes, de investigación y de extensión de este nivel educativo [5]. Estas medidas terminan por iluminar la realidad de los muchos otros roles que la escuela ofrece más allá de lo académico, ya que, para algunos, resulta ser una complicación incómoda, mientras que, para otros, la situación es aún más preocupante.

El objetivo general de la investigación consiste en analizar las representaciones sociales de los estudiantes del Bachillerato Vespertino del CEPVC y que en el futuro inmediato ingresarán a la carrera de IGE, en relación a la

afectación inmediata y mediata de su aprendizaje, debido a la educación a distancia a fin de plantear mejores escenarios educativos en el I.T. T.

Metodología

Diseño de la investigación

De acuerdo a las finalidades que se han proyectado para esta investigación, fue un estudio retrospectivo parcial, puesto que se cuenta con parte de la información de lo que ha acontecido en la Educación a Distancia que se ha llevado a cabo en semestres pasados; el enfoque fenomenológico de investigación, “lo primordial es comprender que el fenómeno es parte de un todo significativo y no hay posibilidad de analizarlo sin el abordaje holístico en relación con la experiencia de la que forma parte” [6]. El fenómeno estudiado se concibe que es transversal, donde las variables son valoradas durante el ciclo escolar 2021-2022, sin pretender dar seguimiento de forma inmediata; por lo que este estudio también se reconoce como descriptivo puesto que solo se estudia un tipo de población como lo son los alumnos inscritos al bachillerato vespertino y describe el comportamiento de las variables de acuerdo a la valoración de sus percepciones, es también observacional puesto que solo se interpreta lo que acontece con los jóvenes sin intervenir en el fenómeno estudiado. De acuerdo al alcance de la investigación se pretendió como explicativa, que no solo describiera lo que acontece en los hechos y cómo éstos se relacionan con las actitudes de los estudiantes, sino que también explicara porque están sucediendo las cosas, atendiendo a las causas (Representaciones Sociales) y la variable que pueda estar relacionada (efectos en el aprendizaje), analizar y explicar las condiciones en que acontecen los hechos [6].

La presente investigación fue mixta se dividió en tres fases, las primeras dos se destinaron para el estudio de las representaciones sociales ya que es posible examinarlas y analizarlas a través de los enfoques cuantitativo y cualitativo para su investigación, lo que permite aprovechar las ventajas que cada enfoque ofrece para reconocer e interpretar la información y su relación con el objeto de estudio; de esta forma se vincula lo mixto para superar las limitaciones del estudio de las representaciones sociales y analizarlas en su integralidad. La tercera fase se orienta hacia un enfoque cuantitativo, donde los datos se obtienen por medio de una escala tipo Likert, que permita reconocer la capacidad de aprendizaje de los estudiantes. Por tanto, lo importante de esto, es conocer dada las experiencias de los estudiantes, cómo han interpretado la educación a distancia y comprender sus actitudes dadas sus necesidades de aprendizaje, describiendo su significado. El concepto de representación social requiere de instrumentos cualitativos fundamentalmente si el interés se centra en los procesos de objetivación y anclaje asociados al estudio de los campos de representación y el de tipo cuantitativo cuando el interés se centra en la información y las actitudes.

Recolección de datos

Se recurrió a los métodos asociativos, como es la asociación libre de palabras, que permiten el acceso a los núcleos figurativos de la representación, mismos que nos servirán como base para hacer un análisis más profundo. Para el desarrollo de esta investigación se pretendió aclarar la parte técnica que se desarrollaría para encontrar las RS de los estudiantes del bachillerato; se aplicó el método a una muestra de la población, apoyándose de los formularios en línea, considerando que el desarrollo de la misma será ejecutado desde la modalidad a distancia, en las sesiones en línea que se han programado con los estudiantes en sus clases virtuales. Las representaciones sociales pueden manifestarse en una serie de valores, ideas, imágenes y prácticas que se van formando en lo individual y al mismo tiempo en lo colectivo, construyendo socialmente el significado que le atribuye al objeto de discusión, como en el caso la educación a distancia que es una construcción lógica que se representa por la *relación inversa* de la *figura* con respecto al *significado*.

En este caso la población o plantilla de estudio total de estudiantes del bachillerato vespertino fue de 307 alumnos, seleccionando una muestra no probabilística constituida por los 100 alumnos inscritos en el 6to semestre y próximos a inscribirse en el 1er semestre de la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial del I. T. de Tehuacán, a los cuáles se les aplicó un cuestionario en el que expresaron sus puntos de vista a través de la asociación libre.

Desarrollo

Para continuar con la recolección de información, se utilizó la selección de palabras inductoras de estímulo-concepto: “educación a distancia”. Esta fue la frase que permitió provocar el significado o relación significativa que

se le atribuye a este término; esto favoreció la construcción de los semánticos, es decir, los significados emitidos por los estudiantes representados en palabras y de las combinaciones para la construcción de asociaciones de significados que le dio sentido e interpretación a la frase que se les presentó; por lo que se les solicitó a los jóvenes que “escribieran cinco palabras que conceptualicen a la educación a distancia”; con ello, se pretendió encontrar los conceptos a este proceso asociándolas libremente. Para poder conocer los conceptos asociados al término de educación a distancia se presentó el cuestionario que fue aplicado a través de un formulario de google que se compartió en línea mediante un link, con cada uno de los jóvenes que participaron en este estudio. Dicha aplicación se llevó a cabo de manera individual a través de un cuestionario en línea, para tener mayor certeza en que los datos que se obtuvieron fueran confiables; presentándoles previamente un ejemplo para que pudieran comprender el ejercicio donde se les aclaró que solo puedan usar sustantivos, verbos y adjetivos para relacionarlo con el concepto.

Resultados y discusión

Se aplicó el cuestionario a 37 estudiantes del 6to. A, de un total de 50, de los cuales solo 28 cuestionarios fueron viables para determinar el valor J. El tamaño de la red que se obtuvo es de 39 palabras relacionadas con la “Educación a Distancia”, de las cuáles se seleccionaron solo las 15 principales con mayor peso semántico y de las que se graficaron de acuerdo a la Diferencia Semántica Cuantitativa, de esta forma se puede determinar el núcleo de la red central conformado por las 5 primeras palabras agrupadas en categorías: Autoaprendizaje (Aprender, Aprendizaje), Estresante, (Estrés), Aburrida (Tedioso), Responsabilidad (Obligación, Compromiso) y Buena. Por otra parte, se aplicó el cuestionario a 46 estudiantes del 6to. B, de un total de 50, de los cuales se obtuvieron los resultados para determinar el valor J. El tamaño de la red que se obtuvo es de 85 palabras relacionadas con la “Educación a Distancia”, de las cuáles se seleccionaron solo las 15 principales con mayor peso semántico y de las que se graficaron de acuerdo a la Diferencia Semántica Cuantitativa, de esta forma se puede determinar el núcleo de la red central conformado por las 5 primeras palabras agrupadas en categorías: Autoaprendizaje (Autónomo, Autodidacta), Estrés, Difícil (Complicado), Responsabilidad y Cansancio.

En la figura 1 se muestran los resultados del grupo 6to. “A” vespertino y próximo a egresar del bachillerato del CEPVC, de las palabras estímulo “educación a distancia”:

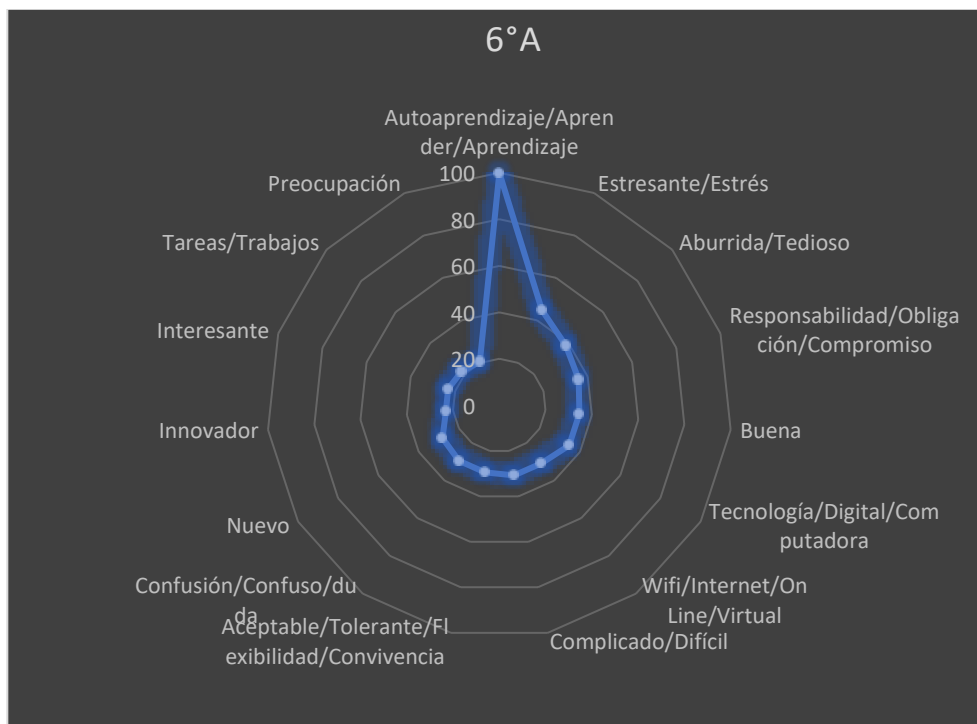


Figura 1. Resultados de las palabras estímulo, por cada grupo de 6to. “A” de bachillerato.

En la figura 2 se muestran los resultados del grupo de 6to "B" vespertino y próximo a egresar del bachillerato del CEPVC, de las palabras estímulo "educación a distancia":

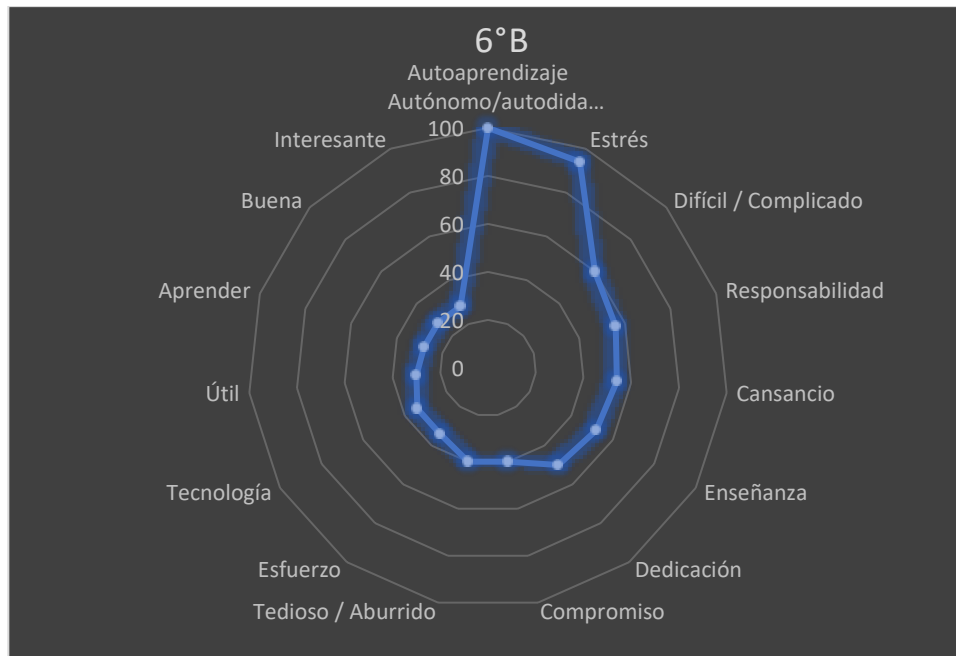


Figura 2. Resultados de las palabras estímulo, por cada grupo de 6to. "B" de bachillerato.

En la figura 3 se muestran los resultados en general de las palabras estímulo, de los próximos a egresar del bachillerato:

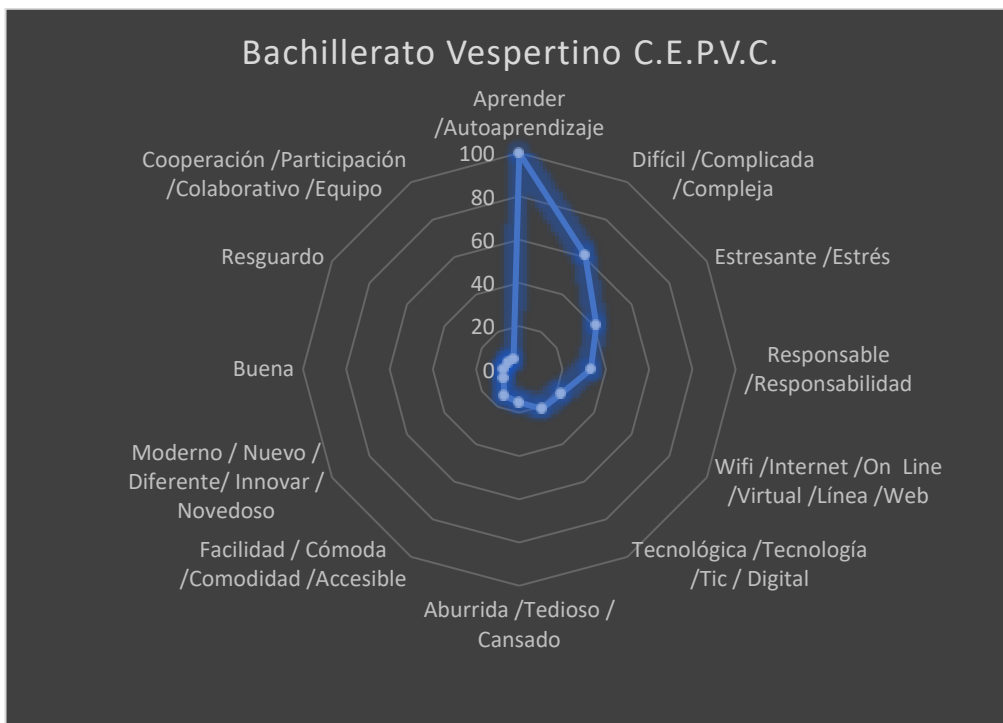


Figura 3. Resultados generales en el 6to. Semestre de las palabras estímulo.

En la tabla 1, se muestran las frases obtenidas de cada grupo y la integración total de los 6's semestres del bachillerato:

Tabla1. Concentrado de frases de cada grupo de los 2 grupos de 6to. Semestre. Elaboración propia.

Figura	Significado
1. Autoaprendizaje – Aprender – Aprendizaje	<ul style="list-style-type: none"> Tenemos que buscar información que nos aclaren el tema o para realizar la actividad propuesta. (7) Se ha incrementado el autoaprendizaje, aprender de manera propia, demostrar nuestra capacidad, comprender cosas por nuestra parte (7) Los maestros nos tratan de explicar el tema a más no poder y en nosotros queda el tratar de entenderlo. Comprometerte contigo mismo. Lograr una buena calidad de conocimientos que nos van a permitir seguir con nuestra formación
2. Estresante – Estrés	<ul style="list-style-type: none"> Implica mucho esfuerzo, relacionado al tema de entregar actividades, saturación de trabajos, más tarea en menos tiempo (9) Las tareas no las he entendido bien, lo mismo con los temas que vemos, por no aprender o entregar lo solicitado (6) Algunos de nosotros trabajamos, obligaciones en casa, y tenemos clase. (5) No estar acostumbrados tomando clases en esta modalidad ya que es más exigencia para lograr los propósitos, no es fácil. (2) Tienes que tener una buena concentración en las clases No contamos con ayuda de nadie más externamente. Organizarnos de mejor manera Prepararnos para el examen de admisión Llenarnos de información a veces no verídica puede causar estrés por el hecho de no saber en qué creer.
3. Aburrida – Tedioso	<ul style="list-style-type: none"> La falta de acompañamiento presencial por parte de los maestros y compañeros hace que sea un proceso difícil, falta de interacción más fluida (5) Estar todo el tiempo pegado en la computadora y/o pantalla (3) Las tareas asignadas se vuelven algo muy repetitivo, aunque se trate de diferentes temas (3) Algunas llegan a ser muy tediosas (2) Me cuesta más concentrarme porque me da sueño Trae una repercusión negativa ya que puede llegar distraer al alumno el utilizar este método ya que está en su hogar.
4. Responsabilidad – Obligación – Compromiso	<ul style="list-style-type: none"> Cumplir con las tareas para entregar en tiempo y forma (8) Me ha servido para mejorar mi responsabilidad (5) Es nuestra responsabilidad investigar mucho más de lo que nos enseñan en clase para enriquecer nuestros conocimientos y aprender (4) Ordenar nuestro tiempo
5. Buena	<ul style="list-style-type: none"> Se trata de que el alumno aprenda y tenga las herramientas para poder ingresar a una universidad por lo que considero que está bien esta forma de enseñanza debido a la pandemia. Es una buena opción para poder continuar con los estudios (4) Con el tiempo te vas acoplado al ritmo de las clases Los maestros buscan maneras para que hacer su clase divertida Una muy buena oportunidad para demostrar nuestras diferentes capacidades y actitudes Se aprenden nuevas cosas Nuestros horarios son más abiertos y por lo tanto se pueden hacer más cosas Estoy muy agradecido con algunos maestros ya que me comprendieron muy bien <i>No es buena, he tenido dolores en la espalda por estar sentada frente a una computadora (2)</i> <i>Aunque nos han apoyado un poco no es del todo bueno, pues a veces nos dejan, y pues no aprendemos lo que deberíamos aprender.</i>

A partir de lo detectado en el aspecto figurativo y dinámico de las RS de los estudiantes del Bachillerato, se reconocieron los aspectos positivos de aprendizaje, se proponen realizar actividades que permitan orientar las acciones de los jóvenes para seguir fortaleciendo su aprendizaje, esto a partir del significado que pueden clasificarse en aspectos positivos y negativos derivados de la experiencia de la Educación a Distancia; para poder lograrlo es necesario cambiar la perspectiva de esta modalidad y orientarlos bajo la nueva dinámica de trabajo académico. Por ello se clasifican las RS como se muestra en la tabla 2:

Tabla2. Aspectos positivos y negativos de las RS. Elaboración propia.

Aspectos Positivos de la Representaciones Sociales	
Aprender / Autoaprendizaje	<ul style="list-style-type: none"> • Se ha incrementado • Aprender de manera propia • Demostrar nuestra capacidad • Comprender por nuestra parte. • Tenemos que buscar información que nos aclare el tema o para realizar la actividad propuesta. • Nuevas formas de enseñanza • Innovadora forma de aprender. • Aprender mediante plataforma digital apoyándonos de distintos medios como son páginas de internet, aplicaciones. • Nuevas habilidades con el uso de las Tecnologías.
Responsable /Responsabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta o mejora • Aprender a ser responsable • Ser responsable al entregar tareas, anotar apuntes, asistencia de manera virtual y elaborar los proyectos. • Es nuestra responsabilidad investigar mucho más de lo que nos enseñan en clase para enriquecer nuestros conocimientos y aprender.
Wifi /Internet /Online /Virtual /Línea /Web	<ul style="list-style-type: none"> • Se lleva a cabo a través de Internet usando herramientas virtuales (aplicaciones o páginas web). • Es necesario el Internet, es una herramienta indispensable para poder cumplir con la modalidad en línea, que facilita el acceso a clases. • Nos da la oportunidad de tener autoaprendizaje, permite el intercambio de conocimiento, apoyo para comprender bien el tema, fuente de toda la información, medio para buscar la información. • Interactuar con los compañeros y maestros a distancia, nos comunicamos de forma más rápida y segura.
Aspectos Negativos de la Representaciones Sociales	
Difícil /Complicada /Compleja	<ul style="list-style-type: none"> • Algunos no cuentan con el servicio a internet, problemas de conexión o con dispositivos, fallas o problemas con el internet. • Hay temas que no entendemos, comprender. • No estábamos acostumbrados a recibir clases en línea, es un proceso de adaptación. • Complicado porque no es la misma enseñanza ni la misma manera de aprender. • La entrega de los trabajos, la dinámica de las clases, nos cuesta trabajo realizarlas o entenderlas, entender por completo lo que se solicita, se acumulan las tareas. • Es difícil llevar el ritmo de los trabajos y también es difícil retener información en nuestro cerebro con tantas distracciones.
Estresante /Estrés	<ul style="list-style-type: none"> • Las actividades nos lleven hacia el estrés, los trabajos que se acumulan, es difícil encontrar una información adecuada o son complicadas. • No tengo quien explique la clase, no entiendo. • Por la impotencia de no saber trabajar de igual manera ya que hay muchas distracciones en el ambiente.

Trabajo a futuro

Se debe llevar a cabo una planeación formal de actividades por parte de los docentes-tutores de IGE del I. T. T., las cuáles se desarrollarán durante las sesiones de tutoría atendiendo las necesidades identificadas y que se han señalado como parte de las acciones en el Plan de Mejora Continua en la categoría de: Indicadores académicos. A partir de lo planteado se pretende que los tutores de grupo tengan la oportunidad de realizar la planeación de sus actividades tutoriales y lo proyecten en su plan de acción tutorial por grupo; ya que de manera particular se pretende que se atiendan las necesidades identificadas a partir de las RS identificadas de forma general y grupal. Para cuando los estudiantes egresados del bachillerato en análisis se inscriban en la carrera de IGE, la academia y el departamento de Ciencias Económico-Administrativas, conjuntamente tienen programadas las actividades de refuerzo necesarias para que les ayuden en su aprendizaje del nivel superior, consistentes en considerar que para promover el aprendizaje autónomo se darán las siguientes recomendaciones a los docentes de la carrera para vincularlas con sus estrategias de enseñanza:

- Grabar las clases.
- Incorporar resúmenes de los temas en plataforma.
- Vincular videos tutoriales o páginas web interactivas que permitan retroalimentar a los estudiantes.
- Favorecer las actividades en equipo en línea y alternarlas con trabajo individual.
- Incorporar redes sociales.
- Involucrar a la familia en las actividades de aprendizaje.
- Crear foros.
- Preparar clases en línea cortas de entre 30 a 40 minutos.
- Solicitar como máximo dos actividades de evaluación a la semana.
- Establecer horarios para la atención de dudas por WhatsApp o en foros.

Conclusiones

La dinámica de trabajo que se ha establecido en el Bachillerato Vespertino considerando el “Modelo Educativo Híbrido”, permite concluir que cuando ingresen a la carrera de IGE, se deben considerar los siguientes puntos:

- Se mantiene el trabajo académico híbrido mediado por la plataforma Classroom.
- Mientras los docentes se conectan en línea, se programan actividades para que los alumnos de la modalidad presencial las realicen durante ese tiempo de conexión.
- Las planeaciones de curso se realizan considerando los alumnos que realizan trabajo a Distancia, Autónomo y Presencial.
- Se realizan guías de acompañamiento para alumnos considerando tanto la modalidad a Distancia, Presencial y de trabajo Autónomo.
- Adaptarse desde las necesidades de acompañamiento de los estudiantes y de la institución, considerando que es necesario fortalecer la formación de los estudiantes desde los aspectos formales que la escuela puede ofrecer.

Derivados de los resultados del presente estudio, se puede dar respuesta a la pregunta central de investigación que hace referencia a ¿cuáles son las Representaciones Sociales de los estudiantes de Bachillerato Vespertino del CEPVC, relacionadas con la educación a distancia?; como se pudo constatar las RS de los estudiantes se vincularon a las palabras que formaron parte del núcleo central: Autoaprendizaje, difícil, estresante, responsabilidad y wifi o internet. El anclaje de las mismas permitió reconocer su significado, en el que se apreció que los estudiantes consideran que su aprendizaje incrementó, aprendiendo de forma autónoma, buscando información que les aclararan los temas para realizar sus actividades académicas. La responsabilidad se fortaleció al tomar apuntes, conectarse a sus clases, cumplir con sus actividades; lo anterior vinculado al internet o wifi como herramientas clave indispensables para que pudieran estudiar con la Educación a Distancia, facilitando la comunicación y el intercambio de información. Las palabras difícil y estresante estuvieron relacionadas con los problemas que tuvieron que enfrentar con esta nueva modalidad, señalando la presión de no contar con un internet estable, comprender los temas, adaptarse a la modalidad y la acumulación de tareas derivados de las distracciones en sus hogares.

En lo que respecta al objetivo de esta investigación que hace referencia a valorar las RS generadas a partir de la experiencia de la educación a distancia dentro de un contexto de contingencia por la pandemia; los resultados obtenidos permiten examinar lo importante que es para el aprendizaje que se considere desde la concepción del sentido de su comportamiento para considerarlo en nuestra práctica docente y reconfigurar las estrategias de enseñanza. Por otra parte, se pudieron identificar las RS de los estudiantes, no solo de manera general, sino también de forma particular considerando lo que cada estudiante en su grupo y semestre pudieron expresar a través de la técnica de las redes semánticas naturales, que rescató lo más significativo de esta experiencia de aprendizaje desde su sentido común, usando su propia palabra y el significado de la misma, formando redes y relaciones entre palabras que aportan un significado, usando el lenguaje como elemento clave.

Finalmente, también se concluye que las RS identificadas dan significado a la educación a distancia, lo que permite a los estudiantes tomar actitudes favorables o desfavorables en esta modalidad. De acuerdo a los resultados, nos damos cuenta que su actitud ha sido propicia, lo que demuestra que los jóvenes reconocen que la modalidad a distancia mediada por las conexiones en línea, plataforma y comunicación por redes sociales dan apertura a su formación, es una forma innovadora de seguir aprendiendo.

Referencias

- [1] G. Lynch, "La investigación de las Representaciones Sociales: enfoques teóricos e implicaciones metodológicas", *Red Sociales, Revista del Departamento de Ciencias Sociales*, Vol. 07, N° 01, p. 102-118, 2020.
- [2] R. Garay, "Representaciones sociales de las competencias docentes en entornos virtuales de aprendizaje en tiempos de pandemia". *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. Año: VIII Número: 2. Artículo no.:39 Período: 1ro de enero al 30 de abril del 2021. DOI <http://www.dilemascontemporaneoseduccionpoliticayvalores.com/>
- [3] A. González, A., T. García, R. Soltero, F. Correa y O. Reynoso, "Una reflexión metodológica sobre el método de importancia-frecuencia y las redes semánticas naturales en el estudio de las representaciones sociales". *Revista de educación y Desarrollo*, 46. Julio-Septiembre de 2018. pdf
- [4] H. Carcamo y J. Garreta, "Representaciones sociales de la relación familia-escuela desde la formación inicial del profesorado". *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 22, e11, 1-14. <https://doi.org/10.24320/redie.2020.22.e11.2406>
- [5] G. Marinoni, H. Van'tLand, y T. Jensen, "The Impact of COVID-19 on Higher Education Around the World IAU Global". *Survey Report*. 2020.
- [6] D. Fuster, "Investigación cualitativa: Método fenomenológico hermenéutico". *Propósitos y Representaciones*, 7(1), 201-229. Doi: <http://dx.doi.org/10.20511/pyr2019.v7n1.267>.

La educación financiera en estudiantes de nivel superior: un caso de estudio

A. Garduño Martínez^{1*}, Y. Martínez Garduño¹, C. A. Baltazar Vilchis

¹Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Universitario UAEM Atlacomulco

*agarduno72@gmail.com

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

Actualmente, organizaciones internacionales y nacionales han puesto énfasis en la necesidad de acrecentar la educación y cultura financiera de las personas con la finalidad de que elijan, de forma adecuada, los productos y servicios financieros acordes a sus necesidades e incrementen su nivel de vida. En este contexto, el propósito de esta investigación es analizar el nivel de educación financiera de un grupo de estudiantes de nivel superior. Para ello se examinó el nivel de conocimiento que ellos tienen acerca de las siguientes variables de estudio: presupuesto, ahorro, Inversión, crédito, seguro y actitudes y comportamiento financiero. Los hallazgos encontrados permiten concluir que los estudiantes encuestados muestran un bajo nivel de educación financiera al presentar carencias de conocimientos y habilidades en las variables estudiadas y manifestar algunas actitudes y comportamientos que podrían poner en riesgo su estabilidad financiera.

Palabras clave: educación financiera, cultura financiera, educación financiera en estudiantes universitarios

Abstract

Currently, international and national organizations have emphasized the need to increase people's financial education and culture in order for them to properly choose financial products and services according to their needs and increase their standard of living. In this context, the purpose of this research is to analyze the level of financial education of a group of higher education students. For this, the level of knowledge they have about the following study variables was examined: budget, savings, investment, credit, insurance and attitudes and financial behavior. The findings found allow us to conclude that the students surveyed have a medium level of financial education by presenting lack of knowledge and skills in the variables studied and show some negative attitudes and behaviors that could put their financial stability at risk.

Key words: Internal factors of micro-enterprises, effects of COVID-19, retail trade sector

Introducción

La educación es uno de los motores principales para el desarrollo social ofreciendo mejores alternativas de vida al tomar mejores decisiones en todos los ámbitos de la vida de las personas. Durante el siglo XX, el principal reto de la educación era enseñar a leer y escribir; hoy en día es primordial enseñar sobre el cuidado en la toma de decisiones financieras adecuadas, es decir, el fomento de la cultura financiera [1], así, la educación financiera se propone dar formalidad a hábitos y costumbres que nacen de la relación entre las personas con el ambiente financiero.

La globalización y la tecnología digital han hecho que los servicios y productos financieros sean más accesibles para los jóvenes. Sin embargo, aunque esto represente una ventaja para aprender por medio de la experiencia, también suelen ser un peligro, porque si no se cuentan con los conocimientos suficientes, estarán expuestos a fraudes.

Los problemas financieros experimentados por la sociedad a partir de la crisis financiera del 2008 hicieron cambiar la percepción de las finanzas personales y la educación financiera resaltando su

impacto en la economía del país, pues permiten una mejor comprensión de conceptos y productos financieros, la prevención de fraudes, toma de decisiones adecuadas al entorno y situaciones de riesgo económico [2].

Actualmente, con la participación de los sectores público y privado se ha elevado el acceso a los servicios financieros logrando una mayor inclusión financiera, sin embargo, el problema radica en la carencia de conocimientos y competencias financieras en los jóvenes [3, 4, p.59], sobre todo en los que pertenecen a zonas con un menor desarrollo económico [5], así, en la educación financiera se integran las decisiones financieras sobre el consumo, el ahorro, la inversión y el crédito que permiten a las personas construir una estabilidad económica, siempre y cuando utilicen estos recursos de manera responsable.

Por otro lado, una educación financiera precaria lleva a comportamientos que pueden orillar a las personas al endeudamiento e impago, lo que incrementa el riesgo de perder su patrimonio [6, p.30]. Un estudio reveló que el rezago de la población mexicana en estos temas radica en la escasa inclusión social debido a la desigualdad y los altos niveles de endeudamiento [7].

De acuerdo con cifras de la CONDUSEF [8], "... el 30% de los jóvenes mexicanos no tienen ningún interés por adquirir cultura financiera y les gusta gastar el dinero en comida, tecnología, ropa y entretenimiento". Como es de suponerse, la educación financiera se aprende con la práctica, por lo que es necesario que los jóvenes adquieran hábitos financieros adecuados, pues en la actualidad, los estudiantes universitarios presentan un endeudamiento temprano, siendo esto un factor de riesgo para la estabilidad financiera en sus familias [9].

Diversas instituciones y autores hecho trabajos de investigación sobre la educación financiera. En la tabla 1 se muestran algunos conceptos y definiciones de la misma.

Tabla1. Conceptualización de la educación financiera

Factor	Definición
Comisión Nacional para Protección y Defensa de los Usuarios de Servicios Financieros (CONDUSEF) [10]	La educación financiera permite que las personas adquieran conocimientos y habilidades básicas para administrar mejor sus recursos, incrementen y protejan su patrimonio con la ayuda del uso adecuado y responsable de los productos y servicios financieros.
Comité de educación financiera [11]	Conjunto de acciones necesarias para que la población adquiera aptitudes, habilidades y conocimientos que le permitan administrar y planear sus finanzas personales, así como usar de manera óptima los productos y servicios que ofrece el sistema financiero en beneficio de sus intereses personales, familiares, laborales, profesionales y de su negocio.
Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos -OCDE- (2020) [12]	Combinación de conciencia, conocimiento, competencias, actitudes y comportamientos necesarios para adoptar buenas decisiones financieras y, en último término, alcanzar el bienestar financiero.
Comisión Nacional del Mercado de Valores de España [13]	La educación financiera permite a los individuos mejorar la comprensión de conceptos y productos financieros, prevenir el fraude, tomar decisiones adecuadas a sus circunstancias y necesidades y evitar situaciones indeseables derivadas bien de un endeudamiento excesivo o de posiciones de riesgo inadecuadas.

Fuente: Elaboración propia con base en diversos autores

Las definiciones anteriores conceptualizan a la educación financiera como un proceso de adquisición de conocimientos, habilidades y aptitudes (competencias) que les permitan a las personas tomar decisiones informadas acerca del uso, manejo y riesgo de los productos financieros para administrar eficientemente sus recursos y mejorar su bienestar.

Así entonces, la educación financiera permite a las personas, mediante sus decisiones financieras, mejorar su participación en las actividades económicas del país, lo que representa un factor importante para incrementar los niveles de bienestar en lugares con alto grado de desigualdad [14].

En los últimos años se han realizado estudios para identificar los conocimientos y usos de la población respecto de los productos y servicios financieros [15]. La primera encuesta sobre cultura financiera en México se realizó a través del Banco Nacional de México y la Universidad Nacional Autónoma de México en 2008. En ella se encontró que sólo el 20% de los mexicanos realizaba algún tipo de planeación y presupuesto de sus recursos y cerca de 70% indicó que nunca se informaba sobre cuentas de ahorro, inversiones, créditos y retiro.

En el 2014, las mismas instituciones realizaron estudios para conocer la situación de la cultura financiera en los jóvenes de 15 a 29 años en México, encontrando que no existe una cultura de ahorro formal en el 47% de los encuestados, más del 50% no lleva un control de sus finanzas y el 87% no cuenta con un ahorro para el retiro y los pocos jóvenes que ahorran no saben en qué invertir.

Así, estudiar la cultura y educación financiera, en especial en los jóvenes, a través de estudios de percepción, actitudes y conductas sobre el manejo de sus finanzas, favorecen, de forma indirecta, a las herramientas educativas que fomentan el desarrollo integral de los jóvenes en México permitiendo la construcción y mantenimiento de su patrimonio y mejorando su calidad de vida.

Derivado de lo anterior, el propósito del presente estudio es analizar la situación en que se encuentra la educación financiera en jóvenes universitarios, permitiendo identificar tendencias, comportamientos y áreas de oportunidad, para, en un futuro, proponer estrategias que ayuden a reducir las demandas de inclusión financiera en los individuos, a mejorar su nivel de conocimientos sobre finanzas y que los empoderen al permitirles administrar de manera eficiente sus propios recursos y los de sus familias.

Metodología

El presente estudio se abordó desde un enfoque de investigación cuantitativo debido al análisis de datos con base en una medición numérica y análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento. La recolección de los datos se realizó a través de una muestra no probabilística de conveniencia de 50 estudiantes usando un instrumento elaborado ad hoc para esta investigación. Con este trabajo y esta muestra se pretende realizar una validación inicial del instrumento, para que, más adelante, se pueda aplicar a un universo mayor.

Se trata de una investigación con diseño no experimental y transversal, pues la recolección de los datos se hizo en un momento y tiempo único (junio 2022) y tuvo un alcance descriptivo, donde busca especificar las principales características de la educación financiera de los jóvenes estudiantes del Centro Universitario UAEM Atlacomulco. En la tabla 2 se esquematizan las variables que se analizaron.

Tabla 2. Variables del estudio

Variable dependiente	Variables independientes
Educación financiera	Presupuesto
	Ahorro
	Inversión
	Crédito
	Seguro
	Actitudes y comportamiento

Fuente: Elaboración propia

Análisis de confiabilidad y consistencia interna del instrumento

La validez de un instrumento se refiere al grado en que éste mide aquello que pretende medir y la fiabilidad de la consistencia interna se puede estimar con el alfa de Cronbach. Se asume que los ítems en escala tipo Likert miden un mismo constructo y que están altamente correlacionados. Cuanto más cerca se encuentre el valor del alfa a 1, mayor es la consistencia interna de los ítems analizados. La consistencia interna del cuestionario resultó satisfactoria (0.909), obtenida con el apoyo del programa estadístico informático SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), indicando así una correlación alta [16].

Resultados y discusión

El instrumento aplicado podía ser respondido usando una escala de 1 a 10, donde 1 significaba poca aplicabilidad o no es característico del encuestado y 10 significaba que es típico de él o que lo desarrolla o aplica de forma cotidiana. Posteriormente, los resultados fueron agrupados en Bajo: si las respuestas estuvieron entre 1 y 4, Medio: si ellas estuvieron entre 5 y 7 y Alto: si respondieron con valores de 8 a 10.

Los encuestados se encuentran en una edad de 19 a 22 años y el 82% reporta que el ingreso familiar es de menos de 15,000 pesos mensuales. Los resultados se presentan por variable:

1. Variable denominada presupuesto.

La variable presupuesto tiene como objetivo evaluar en qué medida los estudiantes conocen, elaboran o utilizan una plan o registro de los ingresos y gastos propios o de su hogar, mismos que se realizaron durante un periodo de tiempo previamente delimitado, pudiendo ser semanal, quincenal o mensual e identificando los pagos pendientes del mismo periodo.

Observando los datos de la tabla 4, se puede identificar que la mayoría de los encuestados toma decisiones sobre su propio dinero o el de su hogar, sólo el 58% elabora siempre un plan para administrar ingresos y gastos, y menos de la mitad lleva un registro y hace un seguimiento de ellos. El 70% identifica el dinero para pagos pendientes, aunque sólo el 54% separa recursos para imprevistos o contingencias.

Tabla 4. Presupuesto

Elementos	Bajo	Medio	Alto
Tomar decisiones cotidianas sobre su propio dinero	10%	12%	78%
Tomar decisiones cotidianas sobre el dinero en su hogar	34%	24%	42%
Plan para administrar ingresos y gastos	20%	22%	58%
Registro de gastos	26%	28%	46%
Separar el dinero de pagos pendientes	8%	22%	70%
Tomar nota de los pagos pendientes	16%	34%	50%
Hacer un seguimiento de gastos	42%	20%	38%
Separar dinero para imprevistos o contingencias	16%	30%	54%
Uso de pagos automáticos (domiciliados) para gastos regulares	28%	34%	38%

Fuente: Elaboración propia

2. Variable denominada ahorro.

Este aspecto evalúa el conocimiento y el hábito de guardar dinero de manera formal o informal permitiendo utilizar el mismo en un futuro por alguna eventualidad o en lo que se decida.

De acuerdo con la tabla 5, el hábito de ahorrar en instrumentos formales sólo lo presenta el 32% de los encuestados, mientras que el 54% lo hace de manera informal (en tandas, clubes, etc.).

Tabla 5. Ahorro

Elementos	Bajo	Medio	Alto
Ahorro de manera informal	28%	18%	54%
Ahorro de manera formal	42%	26%	32%
Capacidad para enfrentar un imprevisto de forma autónoma	30%	32%	38%
Capacidad para enfrentar el dejar de obtener ingresos	32%	46%	22%

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que el 42% de los estudiantes encuestados reconocen que no se encuentran en posibilidades de enfrentar un gasto equivalente al ingreso mensual, sin pedir dinero prestado o ayuda a familiares o amigos y que el 26% podrían hacerlo medianamente. De la misma manera, sólo el 22% de ellos podría continuar solventando sus gastos diarios, durante tres meses, sin pedir dinero prestado ni mudarse de casa; en el caso de que las personas lleven los recursos al hogar, perdieran la principal fuente de sus ingresos.

3. Variable denominada inversión.

Con este aspecto se identifica el nivel de conocimiento y el uso de los recursos financieros para destinarlos a una actividad económica o instrumentos de inversión de capitales, permitiendo obtener beneficios en un futuro determinado. En la tabla 6 se aprecia que el 48% de los estudiantes encuestados se preocupa medianamente por recurrir a fuentes de información formales sobre productos financieros (cuentas, tarjetas, créditos, cuentas de inversión, etc.) mientras que sólo el 20% lo hace de forma regular. El 54% reconoce tener un nivel de conocimiento medio sobre productos financieros y el 46% sobre criptomonedas, fondos de inversión o fideicomisos.

Tabla 6. Inversión

Elementos	Bajo	Medio	Alto
Recurre a fuentes de información formales sobre productos financieros	32%	48%	20%
Conocimiento sobre productos de financieros	16%	54%	30%
Conocimientos sobre criptomonedas, fondos de inversión y fideicomisos	38%	46%	16%
Manejo de productos financieros	44%	34%	22%
Manejo de criptomonedas, fondos de inversión o fideicomisos	74%	20%	6%

Fuente: Elaboración propia

Adicional a lo anterior, también se identifica que el 44% maneja muy poco los productos financieros y casi nadie hace uso de las criptomonedas, fondos de inversión o fideicomisos.

4. Variable denominada crédito.

Esta variable recoge la opinión, conocimiento y uso de algún instrumento de crédito, que comúnmente se le denomina préstamo de dinero y se usa para solventar alguna necesidad, el cual deberá devolverse en un cierto tiempo generando intereses que se tendrán que pagar en el mismo tiempo. La tabla 7 contiene los resultados de esta variable destacando que aunque el 78% de los encuestados no maneja algún tipo de crédito y que sólo el 32% usa regularmente una tarjeta de crédito, el 44% reconoce que tiene un conocimiento bajo del tema. Resalta el 66% de respuestas que sí conocen las consecuencias de no pagar a tiempo las deudas.

Tabla 7. Crédito

Elementos	Bajo	Medio	Alto
Conocimientos acerca del financiamiento (créditos)	44%	36%	20%
Manejo de créditos	78%	16%	6%
Uso de tarjeta de crédito	56%	12%	32%
Uso de deuda de fuente informal	60%	24%	16%
Uso de deuda de fuente formal	62%	20%	18%
Conocimiento de consecuencias por no pagar a tiempo las deudas	14%	20%	66%

Fuente: Elaboración propia

5. Variable denominada seguro.

Con los datos de la tabla 8 se considera que el 66% de los estudiantes señalan que tienen conocimientos entre medio y altos acerca del tema de seguros, mientras que el 52% no usa o tiene contratado un seguro de vida, de gastos médicos o de educación y el 54% no tiene seguro de auto, casa o contra accidentes. Ello contrasta con que el 72% y 76%, respectivamente, reconoce que es conveniente tener seguros o que sí son necesarios, aunado a que el 60% opina que es importante tener un seguro y hacer comparaciones antes de contratarlo.

Tabla 8. Seguro

Elementos	Bajo	Medio	Alto
Conocimientos acerca del tema de seguros	34%	42%	24%
Uso de seguros de vida, de gastos médicos o de educación	52%	30%	18%
Uso de seguro de auto, de casa o de accidentes	54%	24%	22%
No conviene tener seguros porque son muy caros y desconoce funcionamiento	72%	26%	2%
No se necesita un seguro y desconfianza en las aseguradoras	76%	18%	6%
Importancia de tener un seguro y hacer comparaciones entre diversas aseguradoras	4%	36%	60%

Fuente: Elaboración propia

5. Variable denominada actitudes y comportamiento.

Los datos de la tabla 9 muestran que los encuestados tienen actitudes y comportamientos algunos positivos y otros negativos. De los primeros destacan que el 68% siempre considera cuidadosamente la posibilidad de pagar algo antes de realizar la compra, que el 78% se considera muy responsable para pagar sus deudas y el 68% las paga a tiempo; y que el 70% opina que es mejor ahorrar para el largo plazo. Otro aspecto positivo es que al menos el 50% reconoce que las inversiones conllevan un riesgo.

Tabla 9. Actitudes y comportamiento

Elementos	Bajo	Medio	Alto
Satisfacción por gastar dinero en lugar de ahorrar para el largo plazo	70%	24%	6%
Satisfacción con su situación financiera actual	44%	36%	20%
Preocupación por sus propios asuntos financieros	26%	46%	28%
Uso de aplicaciones móviles para recibir y hacer pagos	36%	30%	34%

Tabla 9. Actitudes y comportamiento (continuación)

Elementos	Bajo	Medio	Alto
Trazar metas financieras a largo plazo y esfuerzo por alcanzarlas	12%	50%	38%
Responsabilidad de pago de deudas	4%	18%	78%
Preocupación por pagar los gastos normales de vida	10%	32%	58%
Mis finanzas controlan mi vida	20%	44%	36%
Antes de comprar algo se considera cuidadosamente la posibilidad de pagarlo	12%	20%	68%
Tener sobranes de dinero a fin de mes	26%	34%	40%
Pagar cuentas a tiempo	6%	26%	68%
Si alguien te ofrece la oportunidad de ganar mucho dinero, es probable que también se pierda mucho	10%	40%	50%
Es menos probable que se pierda todo el dinero si se guarda en más de un lugar	30%	28%	42%
Si no se tiene dinero para pagar las deudas, no pueden cobrarme y por lo tanto no hay consecuencias	74%	20%	6%
Nivel de conocimiento general sobre asuntos financieros	14%	58%	28%

Fuente: Elaboración propia

Algunos de los aspectos negativos que se analizan son que el 26% considera que no tiene consecuencias el hecho de dejar de pagar las deudas por no tener suficientes recursos económicos; la preocupación que muestra la mayoría de los encuestados (90%) por pagar los gastos normales de la vida y la percepción que tiene el 80% de que las finanzas controlan su vida. Aunado a lo anterior, el 58% está de acuerdo en que tiene conocimientos a nivel medio sobre cuestiones financieras, el 14% considera tener un nivel de conocimientos bajo y sólo el 28% un nivel alto. Finalmente, se puede observar que el 80% de ellos tiene un nivel de satisfacción bajo o mediano con su situación financiera actual.

Trabajo a futuro

En las áreas de oportunidad identificadas en este trabajo está incluir en los planes de estudio de nivel superior, una asignatura de finanzas personales con el objetivo de proporcionar las bases de la educación financiera integral que permita a los estudiantes tomar decisiones financieras responsables e informadas. Si bien, en este trabajo de investigación se presentan resultados de una muestra de 50 estudiantes, con la pretensión de realizar una validación inicial del instrumento, se identifica, como otra área de oportunidad, la posibilidad de hacer un estudio de mayor alcance para diseñar estrategias, programas o acciones que permitan elevar el nivel de educación financiera de los estudiantes de nivel superior.

Conclusiones

Con la educación financiera se adquieren conocimientos, habilidades y actitudes con las cuales las personas toman decisiones informadas acerca del uso eficiente de los productos financieros que ofrecen las instituciones financieras de un país, lo que les permite optimizar sus recursos económicos y mejorar su calidad de vida. Los aspectos que la conforman son: presupuesto, ahorro, Inversión, crédito, seguro y actitudes y comportamiento financiero.

En virtud de este trabajo se puede establecer, en lo que se refiere al presupuesto, los aspectos positivos encontrados fueron que los encuestados toman decisiones financieras sobre su dinero o el de su familia y más de la mitad de ellos separan dinero para imprevistos, sin embargo, sólo la mitad

o menos de los encuestados tienen un plan para administrar ingresos y gastos, llevan un registro de gastos y hacen un seguimiento de ellos, además de usar pagos automáticos (domiciliados) para gastos regulares. Estos últimos aspectos tienen una connotación negativa, pues denotan una falta de control sobre sus finanzas y carencia de conocimiento de la importancia del presupuesto como herramienta para administrar sus recursos, en la mitad o más de los estudiantes encuestados.

En cuanto al ahorro, se concluye que los estudiantes no siguen buenas prácticas de ahorro, pues más de la mitad ahorra de manera informal y menos de la mitad de ellos tiene capacidad para enfrentar imprevistos de forma autónoma.

En el aspecto de la inversión se concluye que la mayoría de los estudiantes tiene un conocimiento medio sobre instrumentos de inversión y más de la mitad recurre casi siempre a fuentes de información formal sobre este tema, lo cual es un aspecto positivo. También lo es el hecho de que más de la mitad tenga conocimientos, por lo menos a nivel medio, sobre criptomonedas, fondos de inversión y fideicomisos; sin embargo, la mayoría no usa ni maneja instrumentos financieros como criptomonedas, fondos de inversión o fideicomisos.

Por lo que se refiere al crédito se concluye que los encuestados tienen un nivel bajo de conocimientos sobre esta temática y más de la mitad no usa los créditos ni tarjetas de crédito ni ninguna otra fuente de financiamiento, lo que implica que están dejando de ocupar oportunidades de crédito que bien analizadas pueden servir de soporte para adquirir bienes duraderos.

En el tema de seguros, se concluye que los encuestados tienen un nivel medio de conocimientos y que la mayoría no hace uso de este instrumento financiero, aunque sí lo considera relevante.

De todo lo anterior se deduce que los estudiantes encuestados presentan un nivel bajo de educación financiera al presentar carencias de conocimientos y habilidades en las variables estudiadas y mostrar aspectos negativos que podrían poner en riesgo su estabilidad financiera.

La información obtenida en este trabajo servirá, en un futuro, para diseñar estrategias que eleven el nivel de educación financiera de los estudiantes universitarios que mejoren sus capacidades para tomar adecuadas decisiones financieras.

Referencias

- [1] CONDUSEF, "ABC de la Educación Financiera. México", 2018. Recuperado de <https://www.condusef.gob.mx> [Accedido 5-jun-2022]
- [2] CNMV y Banco de España, "Plan de Educación financiera 2018-2021". Madrid. 2018. [En línea] Disponible en: https://www.cnmv.es/DocPortal/Publicaciones/PlanEducacion/PlanEducacion18_21.pdf A.
- [3] E. Moreno-García, A. García-Santillán, y L. Gutiérrez-Delgado, "Nivel de educación financiera en escenarios de educación superior. Un estudio empírico con estudiantes del área económico-administrativa", Revista iberoamericana de educación superior, Vol. 8, No. pp. 163-183, 2017 [En línea] Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-28722017000200163&lng=es&tlng=es. [Accedido: 27-may-2022]
- [4] M. de J. Velazquez Vazquez, H. Sánchez Bárcenas M.D. Castillo Sánchez, "Desarrollo de habilidades financieras en educación superior", en A. Hernández Rivera y S. Pérez Munguía (Coord), Visiones de la Educación financiera: Análisis y perspectivas, 2019 [En línea] Disponible en: <http://biblioteca.diputados.gob.mx/janium/bv/ce/lxiv/VISIONESCONGRESO.pdf> [Accedido 17-may-2022].
- [5] G. León Cuanalo, A. Hernández Rivera y G. Haro Álvarez, "Inclusión financiera en jóvenes universitarios en México, 2017-2018", Revista mexicana de economía y finanzas, Vol. 17 Núm. 1, pp. 1-18, 2022 [En línea] Disponible en: <https://www.remef.org.mx/index.php/remef/article/view/716>

- [6] L. A. Vargas Hernández y M.R. Reyes hernández, “La importancia de la educación financiera en la infancia”, en A. Hernández Rivera y S. Pérez Munguía (Coord), Visiones de la Educación financiera: Análisis y perspectivas, 2019 [En línea] Disponible en: <http://biblioteca.diputados.gob.mx/janium/bv/ce/lxiv/VISIONESCONGRESO.pdf> [Accedido 17-may-2022].
- [7] A. Mungaraya, N. Gonzalez y G. Osorio, “Educación financiera y su efecto en el ingreso en México”, Problemas del desarrollo, vol. 52 núm.205, 2021 [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2021.205.69709>
- [8] BBV, “Educación financiera y adolescentes: así gastan el dinero”, 2021 [En línea] Disponible en: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/educacion-financiera-adolescentes-asi-gastan-dinero/>
- [9] M. Denegri, C. Caro, I. Cerda, K. Eschmann, N. Martínez y J. Sepúlveda, “Relación entre actitudes hacia el endeudamiento y discrepancia del yo en estudiantes de pedagogía chilenos”, Actualidades Investigativas en Educación, vol. 17, núm. 3, pp. 1-28, 2017 [En línea] Disponible en: DOI: 10.15517/aie.v17i3.29248
- [10] CONDUSEF, “Antecedentes de la Educación Financiera”, 2021 [En línea] Disponible en: <https://www.condusef.gob.mx/?p=contenido&idc=1042&idcat=1>
- [11] Comité de educación financiera, “Estrategia Nacional de Educación Financiera”, 2017 [En línea] Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/254597/Estrategia_Nacional_de_Educacion_n_Financiera__002_.pdf
- [12] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos -OCDE-(2020) Estrategias nacionales de inclusión y educación financiera en América Latina y el Caribe: retos de implementación [En línea] Disponible en: <https://www.oecd.org/financial/education/Estrategias-nacionales-de-inclusion-y-educacion-financiera-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- [13] Comisión Nacional Del Mercado De Valores “Plan de educación financiera 2008-2012”, 2008. [En línea] Disponible en: <https://www.cnmv.es/DocPortal/Publicaciones/PlanEducacion/PlanEducacion.pdf>
- [14] A. Ungaray, N. González y G. Osorio, “Educación financiera y su efecto en el ingreso en México” Problemas del desarrollo, Vol. 52 Núm. 205, pp. 55-78, 2021 [En línea] Disponible en: <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2021.205.69709>.
- [15] Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Senado de la República y la Cámara de Diputados, “Educación financiera en México”, 2018, 2021 [En línea] Disponible en: https://www.foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_18-018.pdf
- [16] R. Bisquerra, “Metodología de la investigación educativa” Madrid, La Muralla, 2014

Estudio longitudinal del rendimiento escolar del evento de ciencias básicas, nivel medio superior fase I

R.Krauss Machorro¹, S. Hernández Cuazit², M. Abdala Castillo³, L. González Martínez⁴, V. Hernández Pacheco⁵

*1*Departamento de Ciencias Básicas, Instituto Tecnológico de Orizaba, Oriente 9 numero 852, Colonia Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Veracruz, México.

rosa.km@orizaba.tecnm.mx, sandra.hc@orizaba.tecnm.mx, maría.ac@orizaba.tecnm.mx,
liliana.gm@orizaba.tecnm.mx, victoria.hp@orizaba.tecnm.mx

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

Este estudio corresponde a la Fase I de una Investigación longitudinal para analizar el rendimiento académico de los bachilleratos de la Región, a través del Evento de Ciencias Básicas nivel Medio Superior organizado por el TecNM Campus Orizaba. El primer Evento realizado en mayo 2022 tuvo una participación de 13 escuelas y 141 estudiantes.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa: promedio general de los 13 bachilleratos es 32.615% como se muestra en la tabla 5, por debajo del promedio mínimo aprobatorio de 60% para bachillerato, en primer lugar, el Instituto Anglo de Orizaba con un puntaje de 60% como promedio general en las tres áreas evaluadas: Física, Química y Matemáticas y con el mínimo puntaje de 7.5% la escuela Oficial Diurna de Orizaba considerando una escala de 0 a 100%. El área con puntaje más alto es matemáticas con resultado de 88 puntos obtenido por el Colegio México.

Palabras clave: Rendimiento escolar, nivel medio superior, ciencias básicas.

Abstract

This study corresponds to Phase I of a longitudinal research to observe and analyze the high school academic performance of the región, through the upper middle level Basic Sciences Event, organized by the Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba. In this phase I, the first Event results of held in May 2022 are observed and analyzed, which had a participation of 13 schools and 141 students.

According to the obtained results, it was observed that the general average of 13 high schools is below the minimum passing average by 32.61%. With a general average of 60% in the three areas: physics, chemistry and mathematics, in first place, el Instituto Anglo de Orizaba. The minimum score: 7.5%, it 's for Oficial Diurna de Orizaba School. This study is considered at 0 to 100% scale. The area with the highest score is Mathematics, with a result of 88 points obtained by Colegio México.

Key words: School performance, high school, basic sciences.

Introducción

La pandemia de enfermedad por coronavirus (COVID-19) ha provocado una crisis sin precedentes en todos los ámbitos, en la esfera de la educación gran parte de las medidas que los países de América Latina han adoptado ante la crisis de Covid-19 se relacionan con la suspensión de las clases presenciales en todos los niveles educativos, lo que ha dado origen a tres cambios de acción principales: el despliegue de modalidades de aprendizaje a distancia, mediante la utilización de una diversidad de formatos y plataformas; el apoyo y la

movilización del personal docente y las comunidades educativas y la atención a la salud y el bienestar integral de las y los estudiantes. [1]

Hablando de la crisis educativa que también sufre el país en todos los niveles escolares, la cual ha dejado grietas multidimensionales no dejando fuera a los estudiantes de nivel medio superior próximos a egresar e ingresar a la educación superior. [2] No se trata solo de hablar de esta crisis, sino de buscar alternativas que propicien el desarrollo de la educación y la cultura en favor de México. En donde la labor del maestro es fundamental tal como lo señala Keller (1978) en donde menciona que el maestro debe fungir como un "ingeniero educacional y un administrador de contingencias", en otras palabras, no es recomendable que el docente enseñe en el sentido tradicional de solo dar instrucción a un grupo de estudiantes, sino que más bien debe estructurar situaciones en las que los estudiantes participen de manera activa con el contenido a través de la manipulación de los materiales y la interacción social. [3]

Lo anterior lo podemos relacionar con las actividades prácticas establecidas en la retícula de una ingeniería con el 95.56% de asignaturas teórico prácticas, en las cuales los estudiantes participan de manera activa manipulando materiales e interactuando en equipo en los diferentes laboratorios.

Uno de los problemas más grandes que enfrenta el Instituto Tecnológico de Orizaba en sus primeros semestres son los altos índices de reprobación en las asignaturas de Ciencias Básicas; Física, Química y Matemáticas, situación que ha llevado al análisis de la carencia de competencias previas, las cuales son adquiridas en el nivel bachillerato. En la búsqueda de estrategias para analizar el rendimiento escolar de los estudiantes próximos a egresar del nivel medio superior de las escuelas de la región, el Tecnológico Nacional de México Campus Orizaba a través del Departamento de Ciencias Básicas convoca al Primer Evento de Ciencias Básicas Nivel Medio superior, el cual ha permitido visualizar el aprovechamiento escolar de las instituciones participantes a dicho Evento.

El Instituto Tecnológico de Orizaba es una institución de educación superior, perteneciente al Tecnológico Nacional de México, organismo desconcentrado de la Secretaría de Educación Pública.

En sus políticas institucionales el Instituto Tecnológico de Orizaba establece como objetivo esencial fortalecer los servicios educativos a través de la formación integral de los estudiantes impulsando la innovación, ciencia y tecnología; para consolidar la vinculación en los diferentes sectores estratégicos.

Para lograr este objetivo se realizan tareas en forma sistemática en las tres áreas propias de una institución de educación superior:

- Docencia
- Investigación
- Vinculación

El Instituto Tecnológico de Orizaba actualmente atiende a 5,680 estudiantes, población estudiantil distribuida en las siguientes carreras de nivel licenciatura.

- Ingeniería Eléctrica
- Ingeniería Electrónica
- Ingeniería Industrial
- Ingeniería Mecánica
- Ingeniería en Sistemas Computacionales
- Ingeniería en Informática
- Ingeniería Química
- Ingeniería en Gestión Empresarial

La Academia de Ciencias Básicas del Instituto Tecnológico de Orizaba, en su afán de mejorar la calidad de la educación que se imparte, y motivada por los datos que en los últimos años se observan acerca de la problemática educativa en los estudiantes de nuevo ingreso, inicio un proceso de análisis como parte de nuestro quehacer educativo institucional y con el apoyo de la dirección, diseña, organiza, promueve y lleva a cabo el Primer Evento de Ciencias Básicas para nivel medio superior y así obtener información sobre el rendimiento escolar de los bachilleratos de la región, puesto que el 60% de aspirantes a nuevo ingreso son jóvenes egresados de instituciones de la región.

Varios son los problemas y necesidades detectadas a través de los análisis realizados por la Academia de Ciencias Básicas, sin embargo, al considerar el tipo de educación tecnológica que impartimos y específicamente en el área de ingeniería, nos vemos en la necesidad de realizar un análisis detallado con la problemática relacionada a la deficiencia de competencias previas considerando [4], en especial, que en agosto 2022 ingresará a la universidad la generación de bachillerato que recibió educación virtual por más tiempo debido a la pandemia por Covid-19; Marzo 2020-Enero 2022, lo que corresponde de manera general de segundo a quinto semestre y para algunos bachilleratos hasta sexto semestre, convirtiéndolos en la generación de bachillerato que curso en promedio solo el 33% de su educación en modalidad presencial. Los alumnos que permanecieron en clases deben recibir apoyos académicos, como programas de nivelación de aprendizajes, que den mayor prioridad a los aprendizajes fundamentales, que de acuerdo a nuestro Sistema se denominan Ciencias Básicas, así como también a las habilidades socioemocionales. [5]

Para entender esta problemática es necesario tener en consideración estos elementos del proceso educativo: los profesores y la manera de enseñar; La estructura de los conocimientos que conforman el currículo y el modo en que éste se produce y el entramado social en que se desarrolla el proceso educativo. [6]

Estos elementos fueron fracturados y reinventados en la búsqueda de soluciones didácticas para continuar el quehacer educativo en las escuelas durante el aislamiento social, que impedía reunirnos en las aulas donde se desarrollaba el proceso educativo.

Por tal motivo, surge la necesidad de realizar esta investigación con los siguientes objetivos:

- Recopilar datos del Primer Evento de Ciencias Básicas nivel medio superior para compararlos con Eventos posteriores considerando la crisis educativa ocasionada por la situación actual sanitaria generada por la pandemia de Covid-19.
- Analizar el rendimiento escolar de los estudiantes de nivel medio superior en las ciencias básicas de los bachilleratos que participantes en el Primer Evento de Ciencias Básicas nivel medio superior.

Metodología

En este estudio de tipo longitudinal [7] se recopilan datos cualitativos y cuantitativos para ser analizados mediante estadística descriptiva para la obtención, organización y descripción de la información numérica, así como la representación gráfica de datos y poder utilizar las medidas de tendencia central para dar seguimiento al rendimiento escolar de los bachilleratos participantes en el Primer Evento de Ciencias Básicas nivel medio superior y conocer la relación de estos datos durante el aislamiento social como primera fase y en una segunda fase la relación rendimiento escolar con modalidad presencial.

El universo lo conforman 13 escuelas como se enlistan en la tabla 1, con una muestra de 141 estudiantes participantes en el evento efectuado en mayo de 2022. El primer paso fue la recopilación de la información a través de la academia de Ciencias Básicas para posteriormente clasificarla y analizarla.

En la búsqueda de información, participaron los siguientes bachilleratos:

- Oficial Diurna de Orizaba
- COBAEV 06 Nogales
- Bachilleres América
- José María Morelos y Pavón
- CONALEP
- Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios no. 192
- Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios no.142
- Colegio Guillaumin
- Colegio México
- Instituto Intercultural Ignacio de la Llave s.c.
- Instituto Anglo de Orizaba
- Instituto Atenas de Orizaba
- Colegio de estudios Científicos y Tecnológicos del estado de Veracruz

Posteriormente se realizó la agrupación de 4 categorías de acuerdo a la clasificación de la Secretaría de Educación Pública:

Tabla 1.- Clasificación de escuelas participantes.

Bachillerato general	Bachillerato tecnológico	Profesional técnico	Particulares
<ul style="list-style-type: none"> Oficial Diurna de Orizaba COBAEV 06 Nogales Bachilleres América 	<ul style="list-style-type: none"> Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios no. 192. Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios no.142. Colegio de estudios Científicos y Tecnológicos del estado de Veracruz 	<ul style="list-style-type: none"> CONALEP 	<ul style="list-style-type: none"> Instituto Atenas de Orizaba José María Morelos y Pavón Colegio Guillaumin Colegio México Instituto Intercultural Ignacio de la Llave s.c. Instituto Anglo de Orizaba

Una vez clasificada la información, se realizó el siguiente análisis descriptivo:

- Determinación del porcentaje de eficiencia de los bachilleratos participantes en el área de Física.
- Determinación del porcentaje de eficiencia de los bachilleratos participantes en el área de Química.
- Determinación del porcentaje de eficiencia de los bachilleratos participantes en el área de Matemáticas.
- Análisis general del rendimiento académico de los bachilleratos participantes en las áreas de Física, Química y Matemáticas.

Determinación de las variables de estudio

Como variable independiente se consideró el bachillerato de procedencia, los resultados obtenidos en las áreas de física, química y matemáticas en el primer evento de ciencias básicas nivel bachillerato, considerando que esta generación recibió educación en línea el 67% de su formación de nivel medio superior, corresponde a las variables dependientes.

Resultados y discusión

En la tabla 2 se muestra el porcentaje de eficiencia de los bachilleratos participantes en el área de física y en la figura 1 se analiza el rendimiento escolar de los trece bachilleratos participantes, en donde se observa como puntaje máximo 60, que corresponde al Instituto Anglo de Orizaba y como mínimo puntaje con 7.5 la escuela Oficial Diurna de Orizaba considerando una escala de 0 a100.

Tabla 2.- Porcentaje de eficiencia de los bachilleratos participantes en el área de Física. (Escala 0-100)

Escuelas	Promedio Física
Oficial Diurna de Orizaba	7.50
COBAEV 06 Nogales	34.00
Bachilleres América	37.00
José María Morelos y Pavón	32.00
CONALEP	27.14
Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 192	24.67
Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No.142	29.69
Colegio Guillaumin	34.00
Colegio México	48.00
Instituto Intercultural Ignacio de la Llave S.C.	34.00
Instituto Anglo de Orizaba	60.00
Instituto Atenas de Orizaba	24.00
Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Veracruz	32.00

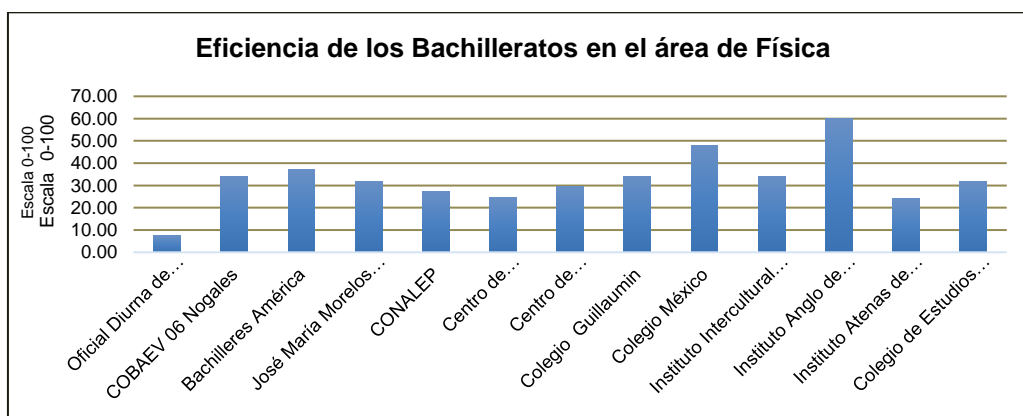


Figura 1.- Porcentaje de eficiencia de los bachilleratos participantes en el área de física.

En la tabla 3 se presentan los porcentajes de eficiencia de los bachilleratos participantes en el área de Química donde se observa como puntaje máximo 46, que corresponde al Instituto Anglo de Orizaba y como mínimo puntaje la escuela Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Veracruz con 22, en la figura 2 se presenta gráficamente esta información.

Tabla 3.- Porcentaje de eficiencia de los bachilleratos participantes en el área de Química. (Escala 0-100)

Escuelas	Promedio Química
Oficial Diurna de Orizaba	32.50
COBAEV 06 Nogales	32.00
Bachilleres América	35.00
José María Morelos y Pavón	36.00
CONALEP	22.14
Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 192	24.00
Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No.142	45.00
Colegio Guillaumin	42.00
Colegio México	42.00
Instituto Intercultural Ignacio de la Llave S.C.	26.00
Instituto Anglo de Orizaba	46.00
Instituto Atenas de Orizaba	34.00
Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Veracruz	22.00

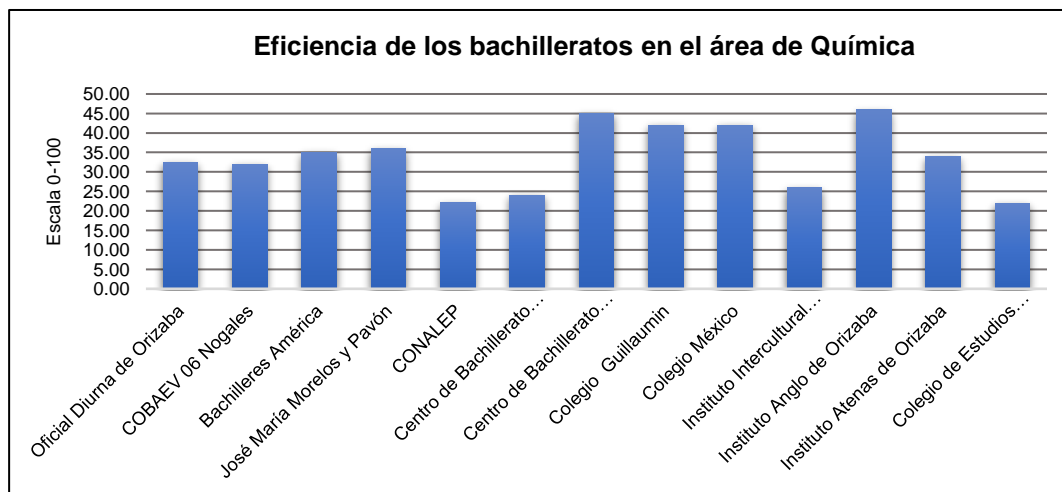


Figura 2.- Porcentaje de eficiencia de los bachilleratos participantes en el área de Química.

En la tabla 4 se muestra el porcentaje de eficiencia de los bachilleratos participantes en el área de Matemáticas y en la figura 3 se analiza el rendimiento escolar de los trece bachilleratos participantes, donde se puede observar cómo puntaje máximo 88, alcanzado por el Colegio México y como mínimo puntaje con 17.5 la escuela Oficial Diurna de Orizaba.

Tabla 4.- Porcentaje de eficiencia de los bachilleratos participantes en el área de Matemáticas. (Escala 0-100)

Escuelas	Promedio Matemáticas
Oficial Diurna de Orizaba	17.50
COBAEV 06 Nogales	38.00
Bachilleres América	33.00
José María Morelos y Pavón	48.00
CONALEP	31.07
Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 192	38.00
Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No.142	48.18
Colegio Guillaumin	68.00
Colegio México	88.00
Instituto Intercultural Ignacio de la Llave S.C.	54.00
Instituto Anglo de Orizaba	84.00
Instituto Atenas de Orizaba	42.00
Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Veracruz	32.00

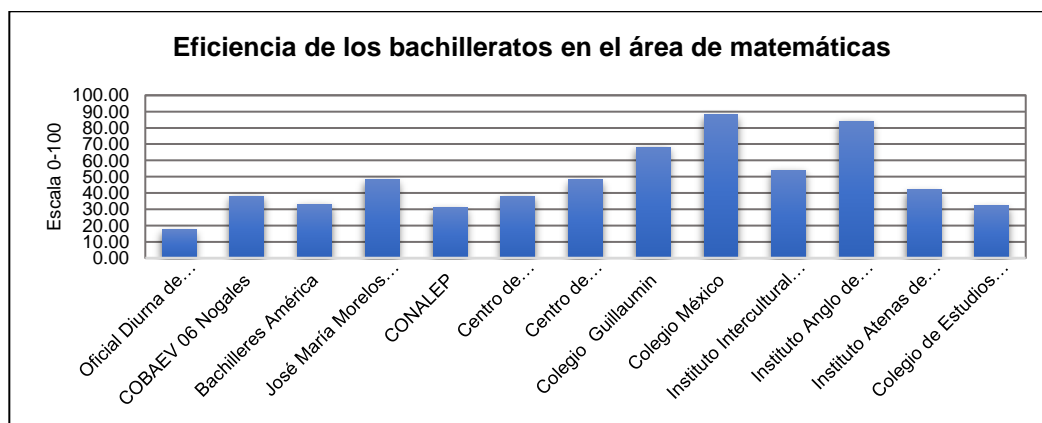


Figura 3.- Porcentaje de eficiencia de los bachilleratos participantes en el área de Matemáticas

De acuerdo a los datos de la tabla 5 promedio general de los bachilleratos participantes en las áreas de Física, Química y Matemáticas, se realiza la figura 4 en donde se observa que el Instituto Anglo de Orizaba obtuvo el puntaje más alto con 63.33 en el promedio general, seguido del Colegio México con un puntaje de 59.33 y en el tercer lugar el Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios no.142 con un puntaje de 53.33.

Tabla 5.- Promedio general de los bachilleratos participantes en las áreas de Física, Química y Matemáticas.
 (Escala 0-100)

Escuelas	Promedio general
Oficial Diurna de Orizaba	19.17
Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Veracruz	28.67
Instituto Atenas de Orizaba	33.33
COBAEV 06 Nogales	34.67
Instituto Intercultural Ignacio de la Llave S.C.	38.00
José María Morales y Pavón	38.67
Bachilleres América	44.00
Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 192	45.33
CONALEP	48.00
Colegio Guillaumin	49.33
Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No.142	53.33
Colegio México	59.33
Instituto Anglo de Orizaba	63.33
Promedio general	32.61

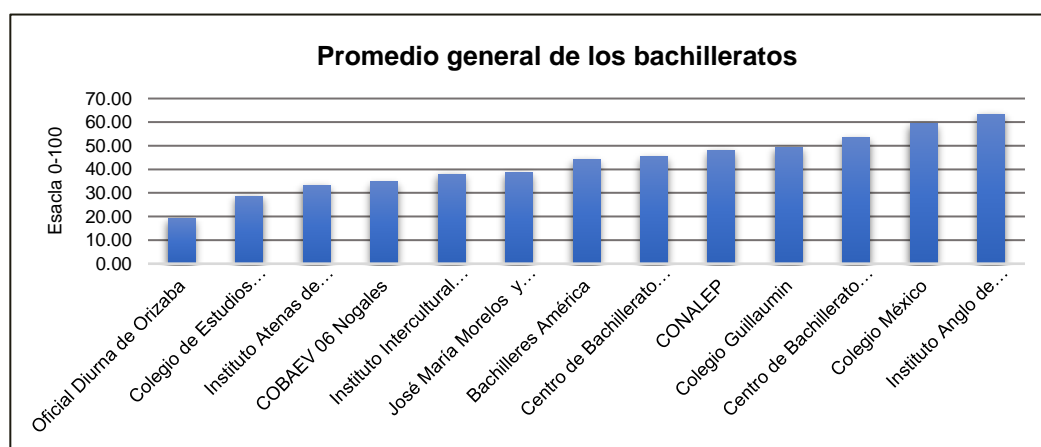


Figura 4.- Promedio general de los bachilleratos participantes en las áreas de Física, Química y Matemáticas

Trabajo a futuro

Esta investigación al ser considerada de tipo longitudinal, nos permitirá distinguir fenómenos de corto, medio y largo plazo, su distribución y su continuidad específica. En la fase I recopilamos datos del rendimiento escolar de los bachilleratos en la generación más afectada por el aislamiento social, lo que se pretende es recopilar los datos de eventos de años posteriores y continuar este estudio longitudinal a la fase II y correlacional en la fase III para poder compararlos e inferir conclusiones sobre el impacto que tuvo el aislamiento social ocasionado por la pandemia de Covid-19 en el rendimiento escolar de los jóvenes que egresan de bachillerato.

Se propone a la Academia de Ciencias Básicas y al Departamento de Desarrollo Académico la implementación de programas de nivelación académica y de reincorporación de alumnos para atender los efectos escolares de la pandemia de COVID-19 incluyendo la implementación de un curso remedial; que abarque el reforzamiento de los

temas de Calculo Diferencial, Fundamentos de Física y Fundamentos de Química, previo a iniciar el primer semestre con el objetivo de subsanar las deficiencias en las competencias previas y así obtener un aprendizaje significativo en su formación como ingenieros.

Conclusiones

La reprobación del nivel universitario de las carreras de Ingeniería es una preocupación de las Instituciones de Educación Superior en México.

El Instituto Tecnológico de Orizaba no está exento de los altos índices de reprobación que se presentan en los primeros semestres de las carreras de ingeniería, durante los cuales se cursan las asignaturas de Ciencias Básicas, por tanto, se llevó a cabo este estudio para describir el nivel académico de los bachilleratos de la región y evaluar el impacto que ha tenido la pandemia de Covid-19 en el rendimiento escolar de los estudiantes de bachillerato, específicamente en las ciencias básicas.

El 90.78% de los estudiantes que participaron en el primer Evento de Ciencias Básicas no alcanzan un puntaje mínimo aprobatorio, considerando que en el nivel medio superior se considera como 60% la calificación mínima aprobatoria.

Tan solo el 9.21% de la muestra alcanza un puntaje mínimo aprobatorio, considerando como calificación mínima en el nivel medio superior 60%.

Es importante mencionar que el 77% de estudiantes aprobados provienen de escuelas privadas, 7.69% de profesional técnico y el 15.38% pertenecen a un bachillerato tecnológico.

La falta de conocimientos previos identificados en este estudio puede provocar altos índices de deserción escolar en los primeros semestres en las universidades.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a las Escuelas participantes en el primer Evento de Ciencias Básicas nivel medio superior, así como para el M.A. Rigoberto Reyes Valenzuela, director del Instituto Tecnológico de Orizaba, al departamento y academia de ciencias básicas por brindar los datos para la realización de este estudio.

Referencias

- [1] CEPAL-UNESCO, «La educación en tiempos de la pandemia de COVID-19,» CEPAL- UNESCO, Santiago, 2020.
- [2] J. Morales, «Consecuencias del cierre de Escuelas por el Covid- 19 en las Desigualdades educativas.,» *Revista Internacional de Educación para la Justicia Social.*, vol. 3, p. 9, 2020.
- [3] J. C. T. R. J. Medina, «Las Teorías del Aprendizaje y su evolución adecuada,» *Lex: Revista de la Facultad de derecho y Ciencia Política de la Universidad Ala Peruana*, vol. 17, N° 23, pp. 377-388, 2019.
- [4] B. R. S. H. R. K. A. M. S. López, «Estudio Comparativo entre Bachillerato de Procedencia y calificaciones de cálculo diferencial y Química para Ingeniería Mecánica.,» *Journal CIM* , vol. 6, N° 1, pp. 2356-2363, 2018.
- [5] P. García, «Educación en Pandemia: los riesgos de las clases a distancia.,» IMCO, Ciudad de México, 2021.
- [6] G. Baque-Reyes, «El aprendizaje significativo como estrategia didáctica para la enseñanza-aprendizaje,» *Polo del Conocimiento*, vol. 6, N° 5, pp. 75-86, 2021.
- [7] C. M. J. M. A. Barbosa, *Metodología de la Investigación Métodos y Técnicas*, Patria, 2020.

Conocimiento y manejo de las TIC en los docentes de educación superior de Guanajuato

P. Tamayo Contreras,¹ C. Arias Castillo², M. L. Velázquez Morales³, A. Gutiérrez Rodríguez⁴ H. F. Gutiérrez Rangel⁵

^{1,2,3,4,5} Departamento de Gestión y Dirección de Empresas de la División de Ciencias Económico-Administrativas de la Universidad de Guanajuato. Fraccionamiento el Establo, Guanajuato, Gto. CP. 36250, aeinegocios1@gmail.com; ariasc@ugto.mx; marthavm@ugto.mx; angel0@ugto.mx; y fabiangr@ugto.mx

Área de participación: Investigación educativa

Resumen

El uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) impactan de manera significativa la forma de conducir la enseñanza. El objetivo de esta investigación es conocer el nivel de conocimientos y manejo, que tienen los docentes de educación superior pública y privada del estado de Guanajuato sobre las TIC. Asimismo, saber la asociación entre la competencia docente en la enseñanza mediante las TIC con el dominio de las distintas herramientas tecnológicas. De una población de 394,189 docentes de educación superior del sector público como privado del estado de Guanajuato, México. Participaron 350 profesores. Se desarrollo un instrumento de medición con un coeficiente alfa de Cronbach de 0.938. Los resultados muestran que existe un bajo conocimiento y manejo de las plataformas virtuales por parte de los docentes. Se encontró una correlación significativa entre la competencia docente en la enseñanza virtual con el dominio de las distintas herramientas tecnológicas.

Palabras clave: TIC, pandemia, docentes enseñanza virtual

Abstract

The use of information and communication technologies (TIC) have a significant impact on the way teaching is conducted. The objective of this research is to know the level of knowledge and management that teachers of public and private higher education in the state of Guanajuato have about TIC. Likewise, knowing the association between teaching competence in teaching through TIC with the mastery of the different technological tools. From a population of 394,189 higher education teachers from the public and private sectors of the state of Guanajuato, Mexico. 350 teachers participated. A measurement instrument with a Cronbach's alpha coefficient of 0.938 was developed. The results show that there is little knowledge and management of virtual platforms by teachers. A significant correlation was found between teaching competence in virtual teaching with mastery of the different technological tools.

Keywords: TIC, pandemic, virtual teaching teachers

Introducción

El desarrollo del conocimiento humano se ha incrementado con el tiempo generando cambios en los hábitos, actitudes, costumbres y cultura en todos los campos de la ciencia. En la educación a partir de la invención y aplicación de la computadora en 1969 por parte de la Universidad de California los resultados se han mostrado sorprendentes, de tal manera que con el paso del tiempo se suman

innovaciones que facilitan el proceso de aprendizaje, entre ellas los tutoriales en distintas disciplinas, bajo el respaldo de lenguajes como pascal, cobol, basic, data base entre otros. Hasta llegar al siglo XX con la expansión del internet y a la creación del *world wide web* conocida por las siglas www, es cuando el uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) impactan de manera significativa la forma de conducir la enseñanza [1, 2].

En sí mismas las TIC son desarrollos científicos que no se limitan a un solo espacio van más allá lo que permite interactuar con docentes y estudiantes de cualquier parte del planeta facilitando el intercambio cultural, lingüístico, artístico, y de negocios. Además, de apoyar en el cuidado del planeta desde el ámbito ecológico. Desde este enfoque y para fines de la presente investigación se entenderá como TIC los recursos y técnicas que simplifican la creación, distribución y manejo del conocimiento en las actividades educativas [3,4].

Las TIC se presentan en distintos dispositivos como los celulares inteligentes, computadoras, tabletas electrónicas, redes sociales entre otras más, con diferentes funciones tales como presentaciones en multimedia, video conferencias, foros temáticos, wikis, blocks entre muchas más, lo que facilita la enseñanza del aprendizaje mediante la implementación de la enseñanza virtual con programas y cursos a distancia, esto ha representado un cambio significativo en el papel del docente llevándolo de expositor a facilitador, así como mejorar su planeación de las unidades de aprendizaje [5,6].

La enseñanza y aprendizaje virtual como resultado de las TIC promueven opiniones divergentes, sobre todo en el cuestionamiento en la calidad de la enseñanza, que surgen como un efecto natural de los paradigmas pedagógicos y didácticos a vencer, cuando la manera tradicional de la enseñanza por bastante tiempo se ha caracterizado por ser presencial. La aplicación de las TIC envuelve una nueva alfabetización transdisciplinaria como digital, que en la educación mexicana se vieron obligadas a implementar mediante una capacitación forzada a docentes y alumnos como resultado de la situación epidemiológica padecida en todo el orbe de nuestro planeta a raíz del coronavirus SARCOV-2 y sus distintas mutaciones [7,8].

Las primeras reacciones ante el uso inducido de las TIC, por efecto de la pandemia. por parte de docentes y alumnos se manifestaron al considerarlas como un proceso educativo de seudo información con una saturación inmediata de la información, al no estar las plataformas listas para un uso masivo. Resaltó la percepción de promover una educación impersonalizada. Aunado a lo anterior se reflejó la falta de capacitación y actualización, principalmente, en gran parte de los docentes sobre el manejo de la tecnología en materia educativa conocida como tecnología instruccional como referencia al manejo de programas computacionales y sistemas electrónicos de enseñanza [9,10].

El papel del estudiante de igual manera se enfrentó a los nuevos cambios para tomar una postura más activa ante la educación virtual y tener presente que las TIC no suplantán al profesor, que el docente incrementa su participación orientadora y que participará de manera más activa en reformular el quehacer docente, y que el proceso de evaluación como el de enseñanza se torna más transparente, con un mejor control al quedar registradas en la plataforma electrónica en todo el proceso educativo, siendo una evidencia significativa [11].

El estudiante con las TIC se envuelve en la generación y sistematización del conocimiento de un mundo más interdependiente, se allega de nuevas fuentes de información y recursos, aumenta su aprendizaje y conocimiento en la red, trabaja con un método en el que la clase se planea de mejor manera con objetivos claros, así como con tareas y tiempos para su ejecución. Además, la investigación con las TIC juega un elemento primordial en la construcción del auto aprendizaje, lo que promueve la autonomía e iniciativa para tomar decisiones y sobre todo asumir los riesgos que ello implica [12].

El cambio radical de un proceso educativo presencial a uno digital condujo a reflexionar sobre la cultura con base en libros y textos a la nueva modalidad con soporte de multimedia para conducir el

quehacer docente de la pasividad a la interacción; y de la sincronización a la desincronización en el tiempo y en el espacio. Esta transformación no solo en forma sino en contenido integrada al funcionamiento de las TIC en cuanto a medios de expresión; canales de comunicación, colaboración e intercambio; procesamiento de la información; creación de nuevos escenarios formativos; desarrollo cognitivo, y fortalecimiento de las competencias promovieron una educación con mayor cobertura y el desarrollo de actividades colaborativas y cooperativas [13].

Si bien fue una realidad que las TIC emergen con gran fuerza como consecuencia de la pandemia de covid-19 que condujo a las actividades en los recintos escolares a detenerse por un espacio de tiempo, se vislumbró la proeza de la gran mayoría de los docentes de dar continuidad a sus tareas de enseñanza adaptándolas a sus estrategias pedagógicas.

Se encontraron escenarios en donde se integró lo profesional con las TIC en el aula virtual. La educación mediante las TIC se convirtió en una prioridad para garantizar la continuidad del aprendizaje durante el cierre de las escuelas. Se emplearon algunas modalidades más que otras, en función del nivel educativo, con variaciones entre regiones. En zonas con conectividad limitada, se utilizaron modalidades más tradicionales de educación a distancia, generalmente una combinación de programas en televisión y radio, y distribuyendo materiales impresos [14].

Los exámenes tradicionales se remplazaron por evaluaciones en línea, se prestó mucha atención a los métodos innovadores de evaluación continua. Se realizaron seguimientos de los progresos de los estudiantes mediante encuestas realizadas a través de teléfonos móviles, rastreando las estadísticas de uso, rendimiento de las plataformas y las aplicaciones educativas por medio de Microsoft [15].

Dentro de las TIC surgen distintas plataformas educativas: Schoology que es útil para estar en línea con un colectivo y programar actividades, compartir ideas, material educativo o administrar ya sea un curso completamente virtual o como soporte de un curso presencial; así como Edmodo una plataforma de educación en línea que facilita el control de las tareas, calificaciones y mantiene una comunicación que involucra a profesores, estudiantes y padres de familia [15].

La variedad de plataformas educativas siguen emergiendo como es el caso CourseSites by Blackboard para diseñar cursos, iniciar conversaciones, hacer videollamadas a manera de clase y darle seguimiento al rendimiento de los alumnos; Udemy como una biblioteca de cursos en línea donde cualquier persona puede crear su propio curso siempre y cuando haya un mínimo de 30 minutos de contenido con un 60% del contenido total en formato de video; Rcampus para la gestión de cursos, tareas y calificaciones; Twiducate donde los profesores crean una sala privada para que los alumnos discutan las ideas planteadas, además de compartir calendarios, contribuir con otros salones de clases e incluso insertar videos, enlaces y documentos.

Otras plataformas son: NEO LMS disponible en diversos idiomas para desarrollar actividades, administrar clases online, evaluar estudiantes y dar seguimiento al progreso de los alumnos; Mahara enfocada más a estudiantes que a profesores para crear un portafolio digital y dar seguimiento al desarrollo de materias, habilidades y competencias e incluye funciones de red social; Docebo útil para crear y gestionar actividades de aprendizaje, mientras que su enfoque de red social permite a los alumnos involucrarse de una forma más proactiva y en grupo [16].

La importancia de las TIC como un proceso de enseñanza disruptivo es el principio de más tecnología aplicada a la educación, como es el desarrollo y crecimiento de la robótica en apoyo de los mentores. Un ejemplo de ello es el caso del robot que Oppenheimer (2018) comenta como el Profesor Einstein creado por la compañía Hanson Robotics, que expone de una forma clara y sencilla la teoría de la relatividad, pero sobre todo para un mejor aprovechamiento del alumno, el robot analiza de cada uno de ellos la manera en que aprenden. Es decir, si el estudiante es más visual o auditivo, o si el conocimiento lo adquiere mediante la lectoescritura o es kinestésico. De tal manera que si el Profesor Einstein no logra que el estudiante entienda lo que se le explica, seguirá intentando y cambiando la manera de presentar la información hasta que se logre el aprendizaje [15,16]

Con el tiempo los robots tendrán varias cualidades de lo que se busca como el maestro ideal, como ser tutores con una paciencia ilimitada, de explicar las lecciones de acuerdo con la mejor forma de aprender de cada alumno, además de estar disponibles las 24 horas en cualquier lugar. Medir el progreso de sus estudiantes con sensores que detectarán el nivel de comprensión por medio de variaciones en el tono de voz del alumno, por el tamaño de sus pupilas sin necesidad de aplicar exámenes de manera continua. Lo que implica toda una revolución en la educación [15,16].

No sólo se percibe a la robótica impactando en la educación, también la realidad virtual está ocupando un importante papel en la enseñanza. El ejemplo se observa en la empresa Google que en sus trabajos en el tema transporta al estudiante y al profesor en el espacio y en el tiempo, conduciéndolos a una realidad geográfica o histórica, sea de la historia de México o de un mercado de la antigua Roma, lo más sobresaliente los hace sentir parte de ese acontecimiento. El desarrollo educativo de Google es impresionante ya que por medio de visores transporta al estudiante y profesor a escenarios tan reales que el aprendizaje se conduce a su máxima expresión. El llevar a los estudiantes a lugares a los que jamás podrían ir, sin tener que salir del aula se traduce ya en una realidad [15,16].

Con las TIC el sistema tradicional de enseñanza va quedando atrás, y con el surgimiento de la pandemia se aceleró la aplicación de estas y es cada vez más probado que con la creación de las tabletas y los juegos interactivos, la gran mayoría de los estudiantes aprenden jugando que sentados en un aula escuchando al docente. Además, de utilizar horarios distintos considerando que cada estudiante tiene su propio ritmo y necesidades, algunos se pueden concentrar mejor en la mañana y otros por la noche [15,16].

Ante esta realidad el objetivo de esta investigación es conocer el nivel de conocimientos y manejo, que tienen los docentes de educación superior pública y privada del estado de Guanajuato sobre las TIC. Asimismo, saber la asociación entre la competencia docente en la enseñanza mediante las TIC con el dominio de las distintas herramientas tecnológicas.

Metodología

Participantes

De una población de 394,189 docentes de educación superior tanto del sector público como privado del estado de Guanajuato, México participaron 350 de manera voluntaria, siendo los que contestaron la encuesta realizada mediante Google. El margen de error fue de 4.19% con un nivel de confianza del 95%, bajo la fórmula margen de error simplificada [17]. La muestra se integró por 231 hombres y 119 mujeres (Medad = 42.73 años; DE = 9.60). El 20% de la muestra manifestó tener grado de licenciatura; el 50% indicó tener licenciatura; y el 30% un doctorado. En el estado civil, el de casado fue el de porcentaje más alto (64.3%).

Instrumento

Se utilizó la guía metodológica del proceso recursivo de desarrollo, análisis y comprobación de medida. Se desarrollaron 18 reactivos, las preguntas se construyeron tomando en cuenta la revisión bibliográfica y cuidando el cumplimiento del código deontológico; posteriormente fueron revisados por jueces versados en el tema de la presente investigación, de igual manera mediante una prueba de comprensión de la población materia del estudio, y se realizaron los ajustes correspondientes. Se obtuvo un nivel de confiabilidad de un 0.94% mediante el alfa de Cronbach. La escala utilizada fue la de Likert, de 1 a 5, con los siguientes criterios: «nada» con valor de 1, «poco» 2, «algo» 3, «suficiente» 4, y «bastante» con 5.

Diseño y procedimiento

El procedimiento fue cuantitativo, de tipo no experimental y transversal simple, para realizarlo se utilizó la plataforma de Google en la misma se les comunicó sobre la investigación y su importancia. Los docentes aceptaron colaborar de manera facultativa y respondieron de forma anónima. En todo momento se aseguró el derecho de privacidad y de información.

Análisis de los datos

Se realizó con el programa SPSS® 27.0 para Windows®, se calcularon los estadísticos descriptivos por ítem, el alfa de Cronbach si se elimina el ítem y se realizó la prueba de discriminación entre cuartiles bajo (percentil 25) y alto (percentil 75) con apoyo en la *t* de Student para probar la diferencia y eliminar los reactivos no válidos. Y se aplicó la correlación de Pearson.

Resultados y discusión

Se encontró una consistencia interna significativa, el coeficiente alfa de Cronbach total fue 0.938, los de cada variable se ubicaron entre el rango de 0.931 a 0.942 lo que implica que el instrumento de medición es confiable. Las medias de las percepciones se ubicaron entre 1.02 a 3.39 con una desviación estándar de 0.140 a 0.880 (Véase tabla 1). Es de notar que los resultados manifiestan que existe entre nada, algo y poco conocimiento y manejo de las TIC, ello conlleva a no dejar la capacitación para alcanzar niveles más altos en cuanto a la operación y aplicación de las TIC. Antes de la pandemia de acuerdo con el INEGI [18] la utilización de la TIC representa un nivel muy bajo, y con este estudio se nota que hubo un pequeño avance hacia el manejo de estas tecnologías, sobre todo por la necesidad propia del entorno de trabajar desde casa. En el confinamiento los docentes tuvieron que tomar cursos en línea de una manera acelerada, y aquellos que estaban casados, en su mayoría, realizaron un esfuerzo mayor al atender su propia capacitación y apoyar a su familia para salir adelante en la pandemia, que en este estudio fue porcentaje significativo. Se encontró que un 80% de los docentes de mayor edad, entre 39 a 46 años, tuvieron mayor dificultad en aprender el manejo de las TIC; a diferencia de los mentores jóvenes que en un 65% de los menores a 39 años, les fue menos complicado. Por otro lado, el 80% de los profesores con grado de maestría y doctorado indicaron haber comprendido mejor las TIC. En cuanto al género en el manejo de las TIC no se encontró diferencia alguna.

Tabla 1. Análisis descriptivo y de consistencia interna del conocimiento y manejo de las TIC por parte de los académicos (n = 350) [19].

Variables	Alfa si se elimina el ítem	M	DE
1. ¿Conocimiento y manejo de las distintas TIC aplicadas al proceso de la enseñanza?	0.931	2.78	0.880
2. ¿Dominio de la plataforma de Microsoft Teams?	0.935	3.09	1.172
3. ¿Dominio de la plataforma de Meet?	0.932	2.89	1.174
4. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Rcampus?	0.933	2.91	1.322
5. ¿Dominio del manejo de Zoom?	0.933	3.34	1.288
6. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma educativa Schoology?	0.932	2.87	1.271
7. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma educativa Edmodo?	0.934	3.23	1.252
8. ¿Dominio de la plataforma de Classroom?	0.938	3.39	1.252
9. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Udemy?	0.931	2.91	1.229

Continuación de la tabla 1			
10. ¿Conocimiento de la herramienta de Google Workspace?	0.936	2.04	1.144
11. ¿Conocimiento y aplicación la plataforma CourseSites by Blackboard?	0.936	2.69	1.134
12. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Twiducate?	0.932	2.31	1.129
13. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma de Moodle?	0.932	2.33	1.109
14. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Neo LMS?	0.936	2.71	1.161
15. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Mahara?	0.935	2.29	1.116
16. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Docebo?	0.934	2.00	1.039
17. ¿Aplicación de algún modelo de programación en la enseñanza?	0.942	1.02	0.140
18. ¿Aplicación de la realidad virtual en la enseñanza?	0.941	1.03	0.167

El análisis de discriminación mostró una menor variación en el grupo bajo con medias entre 1.03 a 2.30 donde el conocimiento y aplicación de las TIC es de nada a poco. En el grupo alto el rango fue de mayor conmutación de nada tendiente a suficiente con medias entre 1.10 y 4.56, en este grupo el conocimiento y aplicación que sobresale es la de la plataforma educativa Schoology (Véase Tabla 2). En el caso de los docentes de instituciones privadas en un 68% mostraron indicaron tener un mejor manejo de las TIC, a diferencia de los de instituciones públicas donde sólo el 28% señaló lo anterior.

Tabla 2. Análisis de discriminación y comparación del grupo bajo con el grupo alto del conocimiento y manejo de las TIC en los docentes (n Grupo bajo =86 y n Grupo alto =80, con 95% de intervalo de confianza y gl =164) [19]

<i>items</i>	<i>M_b</i>	<i>DE</i>	<i>M_a</i>	<i>DE</i>	<i>t de Student</i>
1. ¿Conocimiento y manejo de las distintas TIC aplicadas al proceso de la enseñanza?	1.56	0.500	1.78	0.382	5.572
2. ¿Dominio de la plataforma de Microsoft Teams?	1.63	0.347	3.81	0.622	-27.606
3. ¿Dominio de la plataforma de Meet?	1.85	0.775	3.98	1.055	-14.708
4. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Rcampus?	1.56	0.625	4.13	0.786	-23.186
5. ¿Dominio del manejo de Zoom?	1.47	0.663	4.21	0.924	-21.872
6. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma educativa Schoology?	1.81	0.805	4.56	0.691	-23.664
7. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma educativa Edmodo?	1.45	0.645	4.21	0.758	-25.173
8. ¿Dominio de la plataforma de Classroom?	1.77	0.680	4.31	0.936	-19.916
9. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma UdeMy?	2.30	1.128	4.20	1.130	-10.823
10. ¿Conocimiento de la herramienta de Google Workspace?	1.53	0.681	4.21	0.758	-23.882
11. ¿Conocimiento y aplicación la plataforma CourseSites by Blackboard?	1.17	0.490	3.13	1.195	-13.581
12. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Twiducate?	1.86	0.948	3.73	0.954	-12.621
13. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma de Moodle?	1.28	0.501	3.60	0.894	-20.423
14. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Neo LMS?	1.26	0.465	3.58	0.883	-20.952
15. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Mahara?	1.79	0.972	3.79	0.867	-13.990

Continuación de la tabla 2.					
16. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Docebo?	1.41	0.709	3.41	1.002	-14.781
17. ¿Aplicación de algún modelo de programación en la enseñanza?	1.20	0.481	3.09	1.009	-15.226
18. ¿Aplicación de la realidad virtual en la enseñanza?	1.03	0.185	1.10	0.112	0.952

Se encontró que existe una asociación significativa entre la competencia docente en la enseñanza virtual con el dominio de las distintas TIC sea en tiempos de pandemia o en cualquier otra circunstancia. Los resultados fueron relevantes para cada variable que oscilo desde 0.314 hasta 0.776 (Véase tabla 3). Estos resultados destacan la necesidad invertir en una mayor capacitación a los docentes en las TIC, de tal manera que alcancen un nivel óptimo en la enseñanza ante los retos del futuro tendiente a utilizar cada vez más herramientas de alta tecnología, y con ello preparar a los alumnos hacia un sentido de mayor competitividad que enfrente con éxito los veloces cambios que cada día enfrentarán en las distintas disciplinas del conocimiento y la ciencia.

Tabla 3. Correlación de las herramientas tecnológicas con la competencia docente en la enseñanza virtual (n= 350) [19].	
Variables	r
1. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma educativa Schoology?	,393**
2. ¿Dominio de la plataforma de Microsoft Teams?	,331**
3. ¿Dominio de la plataforma de Meet?	,367**
4. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Rcampus?	,520**
5. ¿Dominio del manejo de Zoom?	,326**
6. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma educativa Schoology?	,349**
7. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma educativa Edmodo?	,314**
8. ¿Dominio de la plataforma de Classroom?	,464**
9. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Udemey?	,474**
10. ¿Conocimiento de la herramienta de Google Workspace?	,756**
11. ¿Conocimiento y aplicación la plataforma CourseSites by Blackboard?	,689**
12. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Twiducate?	,724**
13. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma de Moodle?	,733**
14. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Neo LMS?	,499**
15. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Mahara?	,714**
16. ¿Conocimiento y aplicación de la plataforma Docebo?	,458
17. ¿Aplicación de algún modelo de programación en la enseñanza?	,713**
18. ¿Aplicación de la realidad virtual en la enseñanza?	,776**
** p < .01	

Trabajo a futuro

Con el control de la pandemia ante la reducción de casos del coronavirus SARCOV-2 en sus distintas variantes, y de la decisión del gobierno federal de incorporarse a la vida académica de manera presencial, implica tener nuevas líneas de investigación que den respuesta a nuevas interrogantes tales como: ¿Cuál será hora el papel de las TIC en la educación en México?; ¿Habrán cambios en las Universidades en sus programas académicos para aprovechar las ventajas de las TIC?; ¿Hasta dónde las Universidades tomarán la decisión de expandirse a nivel nacional e internacional por medio de las TIC? Estas preguntas y entre otras serían nuevos trabajos a futuro.

Conclusión

El modelo de la educación tradicional sufrió un cambio significativo a raíz de la pandemia y enfrentó de manera abrupta el desafío de aplicar las distintas TIC. Es notorio que la enseñanza con las herramientas virtuales de la actualidad y su mejora en el futuro hacen más fácil despertar las habilidades, destrezas y competencias de los estudiantes, y a su vez hacer reflexionar al docente de su papel en la trasmisión del conocimiento tradicional, a capacitarse en la tecnología de la enseñanza y ver como aliados a las distintas tecnologías desarrolladas para el campo educativo. Es de reconocer que cualquier aplicación de las TIC, o un buscador de internet, robot o una realidad virtual tiene más información que la convierte en conocimientos para transmitir de manera rápida, eficaz, con menos tiempo y más paciencia el quehacer docente.

A medida que se desplace en el docente su antiguo papel de trasmisor de conocimientos tendrá que reinventarse y su enseñanza se enfocará a la curiosidad intelectual, la iniciativa personal, la flexibilidad mental, el trabajo en equipo y la conducta ética.

El presente trabajo muestra que los docentes del estado de Guanajuato están en un nivel bajo de conocimientos y aplicación de la tecnología educativa, esto implica que las universidades y el estado mexicano tienen que invertir más en la capacitación de los maestros para que los estudiantes mexicanos puedan competir con los países del primer mundo. Y así mejorar el nivel de vida de la población mexicana con el desarrollo del campo científico en cualquier nivel productivo.

Referencias

- [1] Janet Cervantes-López, M., Alicia Peña-Maldonado, A., & Ramos-Sánchez, A. (2020). Uso de las tecnologías de la información y comunicación como herramienta de apoyo en el aprendizaje de los estudiantes de medicina. *Revista CienciaUAT*, 15(1), 162–171. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v15i1.1380>
- [2] BAXTO, W., & QUINTÃO CARNEIRO, VL (2019). Uso de las TIC en la educación superior a distancia. *Educación*, 42 (1), 35–43. <https://doi.org/10.15448/1981-2582.2019.1.28389>
- [3] Boulahrouz Lahmidi, M., Medir Huerta, RM y Calabuig i Serra, S. (2019). Tecnologías digitales y educación para el desarrollo sostenible. Un análisis de la producción científica. *Pixel-Bit, Revista de Medios y Educación*, 54, 83–105. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.2019.i54.05>
- [4] Arras-Vota, AM, Bordas-Beltrán, JL, Porrás-Flores, DA, & Gutiérrez Diez, M. del C. (2021). Evolución en el uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) y competencias de los docentes de la Universidad Autónoma de Chihuahua (México), durante la pandemia. *Formación Universitaria*, 14 (6), 183–192. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062021000600183>
- [5] Aldeman, NLS, de Sá Urtiga Aita, KM, Machado, VP, da Mata Sousa, LCD, Coelho, AGB, da Silva, AS, da Silva Mendes, AP, de Oliveira Neres, FJ, & do Monte, SJH (2021). Smartpathk: una plataforma para la enseñanza de glomerulopatías mediante aprendizaje automático. *Educación médica de BMC*, 21 (1).
- [6] Almuqbil, NSM (2021). Impacto de un programa de formación mediante el uso del aula virtual en las competencias docentes y el desarrollo de las habilidades del aula virtual en alumnas-docentes. *Ilkogretim Online*, 20 (4), 2629–2638. <https://doi.org/10.17051/ilkonline.2021.04.301>
- [7] Bernaza Rodríguez, GJ, Aparicio Suárez, JL, de la Paz Martínez, E., María Torres Alfonso, A., & Alfonso Manzanet, JE (2020). La educación de posgrado ante el nuevo escenario generado por la COVID-19. *Revista Cubana de Educación Médica Superior*, 34 (4), 220–239.
- [8] Gervacio Jiménez, H., & Castillo Elías, B. (2020). Desafíos educativos que enfrenta el Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica ante la pandemia sanitaria Covid-19. *Revista*

- Del Centro de Investigación. Universidad La Salle , 14 (53), 45–66. <https://doi.org/10.26457/recein.v14i53.2658>
- [9] Domene-Martos, S., Rodríguez-Gallego, M., Caldevilla-Domínguez, D., & Barrientos-Báez, A. (2021). El Uso del Portafolio Digital en la Educación Superior antes y durante la Pandemia del COVID-19. *Revista Internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública* , 18 (20). <https://doi.org/10.3390/ijerph182010904>
- [10] Boyer-Davis, S. (2020). Tecnoestrés en la educación superior: un examen de las percepciones de los profesores antes y durante la pandemia de Covid-19. *Revista de Negocios y Contabilidad* , 13 (1), 42–58.
- [11] Egan, K. y Crotty, Y. (2020). Mantener un pivote prolongado: evaluar los desafíos que enfrentan las partes interesadas de la educación superior al cambiar al aprendizaje en línea. *Revista internacional de investigación transformadora*, 7 (1), 1–9.
- [12] GÄVRUŞ, C., CHIVU, C. y CHIVU, CI (2021). Gestión de recursos educativos mediante plataforma virtual. *Review of Management & Economic Engineering*, 20 (1), 31–42.
- [13] La Cuarta Revolución Industrial y nuestra juventud. (2021, 19 de mayo). *Express Tribune (Karachi, Pakistán)*
- [14] Koşar, G. (2021). Práctica de enseñanza a distancia: su impacto en la preparación para la enseñanza de los profesores de inglés como lengua extranjera en formación. *Revista de Educación de la IAFOR*, 9 (2), 111–126. <https://doi.org/10.22492/ije.9.2.07>
- [15] Oppenheimer, A. (2018). ¡Sálvese quien pueda! PENGUIN RANDOM HOUSE GRUPO EDITORIAL
- [16] Keith S. Taber y Ben Ben Akpan. (2017). *Educación científica: un compañero de curso internacional*. Rodaballo
- [17] Naher, MI y Naqib, SH (2021). Un estudio ab-initio sobre propiedades estructurales, elásticas, electrónicas, de unión, térmicas y ópticas del semimetal de Weyl topológico TaX (X = P, As). *Informes científicos*, 11 (1).
- [18] INEGI (2021). Educación en el estado de Guanajuato. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/>
- [19] Tablas de elaboración propia.

Sistema de monitoreo de signos vitales y videovigilancia en tiempo real para una incubadora neonatal

W. Ortiz Martínez ^{1*}, F.O. González Manzanilla², J. Chávez Medina³

¹ Dirección de Posgrado, Universidad Politécnica de Puebla.

² Dirección de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Politécnica de Puebla

³ Dirección de Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Puebla

Tercer Carril del Ejido Serrano S/N, San Mateo Cuanalá. Juan C. Bonilla, Puebla Pue. C.P.72640

williams.ortiz@uppuebla.edu.mx

Área de participación: Investigación Educativa

Resumen

En este artículo se presenta el diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo en tiempo real para un prototipo didáctico de incubadora neonatal, el cual recibe los datos a partir de 3 sensores y una cámara de vídeo para el cuidado y vigilancia del neonato. Se desarrolló la interfaz gráfica de usuario (GUI) en el lenguaje de programación JAVA, interconectada a un sistema embebido para el control y almacenamiento de los datos obtenidos por medio de los sensores de pulso cardíaco, de peso, de humedad y temperatura ambiente, además de la cámara de vídeo. El sistema se implementó en un prototipo de incubadora didáctica para la realización de pruebas.

Palabras clave: Interfaz Gráfica de usuario, Sistema de Monitoreo, incubadora neonatal, control de signos vitales.

Abstract

This article presents the design and development of a real-time monitoring system for a newborn incubator prototype, which receives data from 3 sensors and a video camera for the care and surveillance of the newborn. The Graphical User Interface (GUI) was developed in the JAVA programming language interconnected to an embedded system for the control and storage of data obtained through of heart rate sensor, weight sensor, humidity and ambient temperature sensor, in addition to the video camera. The system was implemented in a incubator prototype for testing.

Key words: Graphical User Interface, Monitoring system, newborn incubator, vital signs control.

Introducción

La Ley General de salud en México en su art. 62 establece la prevención de la mortalidad materna e infantil, así también en su art. 262 menciona que las instituciones de salud deberán contar con los aparatos, accesorios e instrumental adecuado para la atención médica, quirúrgica, de exploración, diagnóstico, rehabilitación y tratamiento de pacientes, así como para investigación biomédica [1].

Una realidad es que los equipos y aparatos médicos cada vez son más costosos y sobre todo difíciles de interpretar. Una incubadora con un sistema de control y monitoreo de signos vitales en tiempo real es muy costosa, por lo que la mayoría de los hospitales en el país, cuentan con incubadoras básicas donde solo pueden controlar temperatura e iluminación de la misma, y es necesario contar con personal dedicado al seguimiento permanente del paciente.

Existen equipos especializados destinados específicamente al tratamiento o control de ciertas situaciones médicas. Por ejemplo, la incubadora neonatal está considerada como un equipo especializado para crear un ambiente con la temperatura y humedad controladas de tal forma que sirvan para el desarrollo de los recién nacidos que pueden tener algún padecimiento o ser prematuros.

En la actualidad las principales causas de muerte de neonatos que ingresan a cuidados intensivos se deben a un nacimiento prematuro, con problemas de malformaciones o enfermedades genéticas, así como a enfermedades respiratorias. A nivel mundial, la frecuencia de defectos congénitos es del 2% al 3% y, en países de Latinoamérica, como Chile, Cuba y Costa Rica, los defectos congénitos son una de las principales causas de muerte durante el primer año de vida [2].

Los sistemas de monitoreo se han planteado desde hace algún tiempo, debido a la necesidad de las personas por proteger su integridad física. Los infantes son más vulnerables a sufrir alguna complicación durante su estancia hospitalaria, sobre todo cuando se encuentran en la etapa de desarrollo neonatal, por lo que es necesario contar con medidas extremas de seguridad y una vigilancia constante, evitando riesgos durante su cuidado [3].

En este proyecto se presenta el desarrollo de un prototipo didáctico de incubadora, a la cual se le implementó el sistema de control y monitoreo de diversos parámetros indicadores de los signos vitales de un neonato. Se desarrolló una interfaz gráfica de usuario (GUI), que puede estar instalada en una computadora o en un dispositivo móvil y que cualquier usuario puede interpretar fácilmente; además de que los datos que se obtienen en tiempo real, se están guardando periódicamente en la memoria interna del equipo como un archivo de texto, a fin de contar con ellos cuando sea necesario y mantener el historial de los mismos.

Análisis de situación.

La mortalidad neonatal se encuentra definida como la muerte producida entre el nacimiento y los 28 días de vida, esta definición la provee la Organización Mundial de la Salud, y es considerada un indicador del nivel de desarrollo que tiene la atención prenatal y del recién nacido en una determinada área geográfica o en un servicio.

De acuerdo con la Organización mundial de la salud (OMS), La mortalidad de neonatos ha descendido de 4,6 millones en 1990 a 3,3 millones en 2009. En el 2019 murieron en todo el mundo 2.4 millones de recién nacidos, lo que representa un decremento considerable comparado con el año 2009.

Los países donde se presenta mayor cantidad de muertes en recién nacidos son la India, Nigeria, Pakistán y Etiopía; debido principalmente a las complicaciones durante el parto, las infecciones o defectos congénitos [6]

Gracias a las medidas de seguridad en el tratamiento de los neonatos y al uso de equipos tecnológicos, la tasa de mortalidad neonatal ha descendido a escala mundial. Otro factor importante que ha contribuido en la reducción de muertes se presenta desde que las Naciones Unidas fijaron los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) aumentando las inversiones en atención de salud para la mujer y el niño.

Necesidades de las incubadoras.

En sus primeros años, las incubadoras fueron diseñadas para suplir las necesidades básicas de los recién nacidos, y para esto podían controlar algunas variables como temperatura, humedad y luminosidad; eran de un diseño sencillo, pero su forma de operar se consideraba compleja por el personal médico; además de que pocas instituciones contaba con estos equipos. En la actualidad la incubadora es el medio principal para la atención de neonatos, y debido a su gran demanda se ha implementado en ellas tecnología de punta y sus parámetros son de fácil interpretación [7].

Con el paso de los años y en la búsqueda de contar con mejor equipamiento, se han mejorado diversos aspectos de las incubadoras, tales como el diseño, la seguridad y el control de variables, de modo que el recién nacido tenga mayor posibilidad de sobrevivir y su desarrollo sea óptimo.

Las incubadoras pueden ser estacionarias o de traslado. Para su diseño y uso correcto deben cumplirse normas, tanto nacionales como internacionales, que describen los requerimientos y especificaciones sanitarias que se requieren en el manejo de las mismas.

En la tabla 1, se muestran algunas de las principales normas internacionales para incubadoras neonatales.

Tabla 1: Normas internacionales para incubadoras neonatales

Norma	Expedida por
NOM-066-SSA1-1993 “Especificaciones sanitarias de las incubadoras para recién nacidos”	Secretaría de Salud México - 1995
IEC 60601-1 (1988-12) “Medical Electrical equipment part I: general requirements for safety”	IEC – 1998
IEC 60601-1-am1 (1991-11) “Medical Electrical equipment part I: general requirements for safety. Amendment 1”	IEC - 1991
IEC 60601-1-am2 (1995-03) “Medical Electrical equipment part I: general requirements for safety. Amendment 2”	IEC – 1995
IEC 60601-1-2 (2001-09) “Medical Electrical equipment part I: general requirements for safety. Section 2. Collateral Standard: Electromagnetic compatibility, requirements and test”	IEC – 2001

Como se observa en la tabla 1, las normas que aun rigen las especificaciones para incubadoras, son de hace más de 20 años, y no contemplan el uso de procesos tecnológicos y de sensores en el interior de las mismas.

Metodología

El trabajo que se presenta, se desarrolló en tres etapas, que a continuación se describen:

- La primera es el diseño y construcción del prototipo didáctico de la incubadora instrumentada, que contiene los sensores necesarios para medir diferentes variables como: ritmo cardiaco, humedad y temperatura, además de una cámara web para la video vigilancia del neonato.
- La segunda etapa es el desarrollo del sistema de control a partir de un embebido de bajo costo, útil para la recepción y el manejo de los parámetros que se miden; el cual estará interconectado a los sensores y a una PC, que contendrá la interfaz gráfica para el monitoreo, almacenamiento y la reproducción de los mismos en tiempo real.
- La tercera etapa es el diseño de una interfaz gráfica de usuario (GUI) implementada en el equipo de cómputo de alta velocidad y con la memoria necesaria para guardar los datos que se obtienen de los sensores; deberá ser amigable al usuario.

En la figura 1, se presentan las etapas de la metodología propuesta para el desarrollo de este trabajo.



Figura 1: Etapas de desarrollo del proyecto

Desarrollo

Para el desarrollo de este trabajo se realizó la consulta de diferentes fuentes bibliográficas a fin de conocer las características y el modo de funcionamiento de las incubadoras neonatales que se emplean en los centros de salud. Se procedió al diseño y construcción del prototipo didáctico, además de la implementación de sensores, el sistema de control y la GUI.

Prototipo didáctico

Dos componentes fundamentales en el diseño y desarrollo de una incubadora neonatal son la cabina térmica y el soporte fijo. La cabina es esencial para mantener las condiciones necesarias para el recién nacido, mientras que el soporte fijo (charola) contiene el sensor de peso, el cual está debajo del colchón donde se deposita al recién nacido; los otros sensores salen por los costados de la cabina, la cual sirve para aislar al recién nacido del ambiente externo. Es decir la cabina protege al infante de los cambios bruscos de temperatura o corrientes de aire. La cabina debe ser de un material transparente para que permita la visibilidad del recién nacido y el material que se emplea en su construcción no debe reaccionar con el oxígeno, evitando la corrosión del mismo. Por lo general se utiliza material acrílico [8].

En la figura 2 se presenta el diseño propuesto para la incubadora a construir (las medidas están dadas en milímetros).

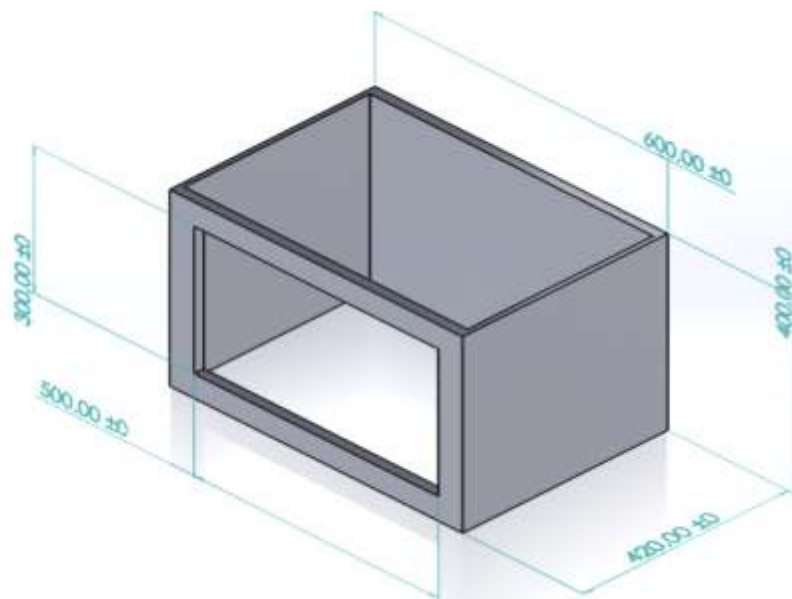


Figura 2: Diseño del prototipo de la incubadora

Instrumentación

Para el diseño de esta incubadora fue necesario la utilización de 3 diferentes sensores dentro del prototipo, además de una cámara web grabando en todo momento.

1. Sensor de temperatura, el cual se activa cuando la temperatura se sale de un rango previamente establecido, generalmente entre 36°C y 38°C
2. Sensor de humedad: Se activa cuando la humedad aumenta, de tal modo que pueda afectar las condiciones de la incubadora.
3. Sensor de pulso cardíaco: Se activa cuando este se encuentra conectado en cualquier punto, donde exista el mayor pulso cardíaco en el cuerpo.

Los sensores son digitales de bajo costo, diseñados para ser empleados e cualquier microcontrolador y que pueden funcionar con señales de 3.3 a 5 volts. En la figura 3 se presentan los sensores y la cámara empleada en el prototipo, y en la tabla 2 se describen sus características.

Tabla 2: Características de sensores y cámara web



Figura 3: Sensores y cámara web empleados en el prototipo

Sensor	Tensión de Entrada	Características
Sensor de Peso	3.3 a 5 V.	Sensor piezoresistivo empleado para monitorear el peso del bebe. Peso máx. = 5 Kg, Tamaño: 5x15 cm, Material = aluminio.
Sensor de pulso cardíaco	5 V	Sensor de ritmo cardíaco óptico con una etapa de amplificación y un filtro para el ruido. El consumo de corriente es bajo siendo de 4mA con una alimentación de 5V
Sensor de temperatura y humedad	3.3 a 5 V.	Sensor digital de temperatura y humedad relativa, integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante. Muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos
Cámara de Video	3.3 a 5 V.	Cámara de video de 0.9 Mpixeles con una resolución máxima de 720 p/30fps

Sistema de control

El sistema de control de datos se realizó mediante el uso del sistema embebido "Arduino UNO", el cual fue seleccionado por la facilidad para programarlo, además de que puede recibir los datos de los sensores y comunicarse con la computadora a través de la Interfaz Gráfica de Usuario, enviando los datos en tiempo real y actualizándolos cada determinado tiempo.

Este sistema detecta las señales obtenidas por los sensores, e inmediatamente envía esos datos a la GUI, al igual que la señal proveniente de la cámara de video. Los datos que va recibiendo los envía al mismo tiempo a un archivo de texto, donde los va almacenando para tener un historial de las mediciones realizadas con los sensores.

En la figura 4 se muestra el sistema embebido empleado, el cual se localiza en la parte trasera del prototipo de incubadora y sirve de comunicación entre los sensores y la interfaz gráfica desarrollada en la computadora donde se almacenan los datos.



Figura 4: Sistema embebido ARDUINO UNO

Interfaz Gráfica de Usuario (GUI)

Para el desarrollo de la interfaz gráfica fue necesario utilizar la programación en Java ya que es multiplataforma y puede ejecutarse en dispositivos embebidos, es un lenguaje de código robusto, que ofrece manejo automático de la memoria y cuyos objetos no hacen referencia a datos fuera de sí mismos o de otros objetos de Java. Esto hace imposible que una instrucción de Java pueda corromper la memoria, ni comprometer los datos de otras aplicaciones o del propio sistema operativo.

Es un programa orientado a objetos, por lo que es más fácil crear aplicaciones modulares y reutilizar partes de las mismas, además de que permite implementar mejores patrones de diseño probados que contribuyen a la propia robustez. Además de que es de código abierto.

A continuación se presenta parte del código empleado para el desarrollo de la GUI

```
m = new Meter (this, 10, 70);  
m.setTitle("Temperatura en C");  
m.setScaleLabels(scaleLabels);  
m.setDisplayDigitalMeterValue(true);  
m.setMaxScaleValue(50);  
m.setMinInputSignal(0);  
m.setMaxInputSignal(50);  
m.setNeedleThickness(3);
```

El desarrollo de la GUI, se realizó en dos diseños diferentes. El primer diseño presentaba las mediciones en forma lineal, posteriormente se realizó la interfaz que presenta los datos por medio de medidores de aguja, mostrando el valor real en la parte inferior.

En la figura 5, se muestra el indicador de temperatura en grados centígrados, y en la figura 6 el indicador de peso en gramos.



Figura 5: Indicador de temperatura, empleado en la GUI



Figura 6: Indicador de peso corporal, empleado en la GUI

Los datos mostrados en la GUI, se actualizan constantemente (cada 1 s.) y se guardan en un archivo de texto para tener el historial completo de los parámetros que se están midiendo.

Resultados y discusión

De acuerdo a las tres etapas propuestas se obtuvieron los siguientes resultados:

1. El diseño del prototipo didáctico de incubadora.
2. El desarrollo y la instrumentación con sensores.
3. La implementación de la etapa de control y almacenamiento de datos en una PC.
4. La implementación de la interfaz gráfica que muestra los datos en tiempo real

El diseño del prototipo didáctico de la incubadora se presentó en la figura 2.

El desarrollo de la incubadora se presenta en la figura 7, donde ya se observa la interconexión de los sensores y en la parte posterior el sistema embebido.

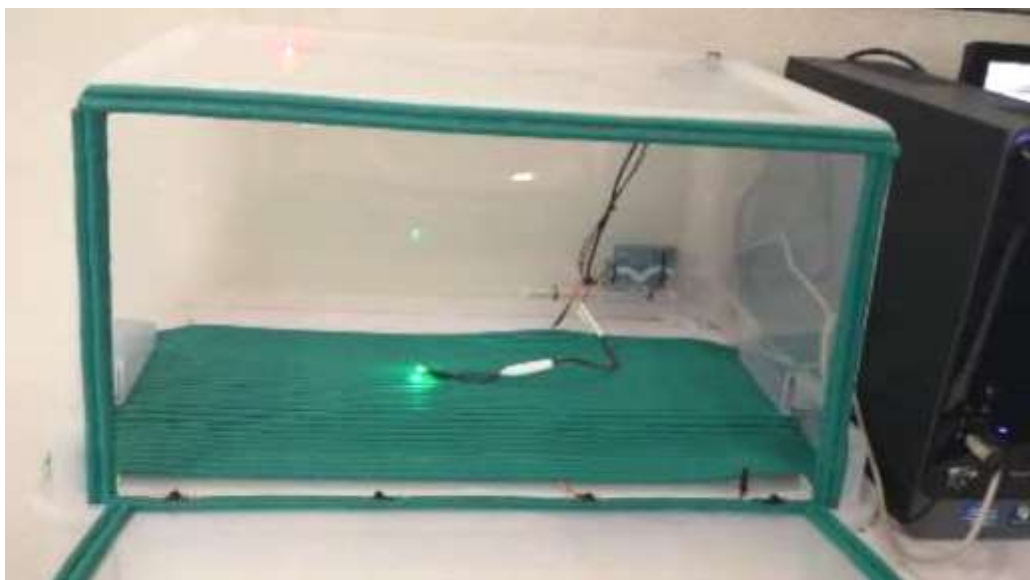


Figura 7: Incubadora instrumentada

En la figura 8 se presenta el prototipo interconectado a la PC, la cual contiene la interfaz gráfica y es donde se almacenan los datos de los sensores, además del video obtenido por la cámara web.

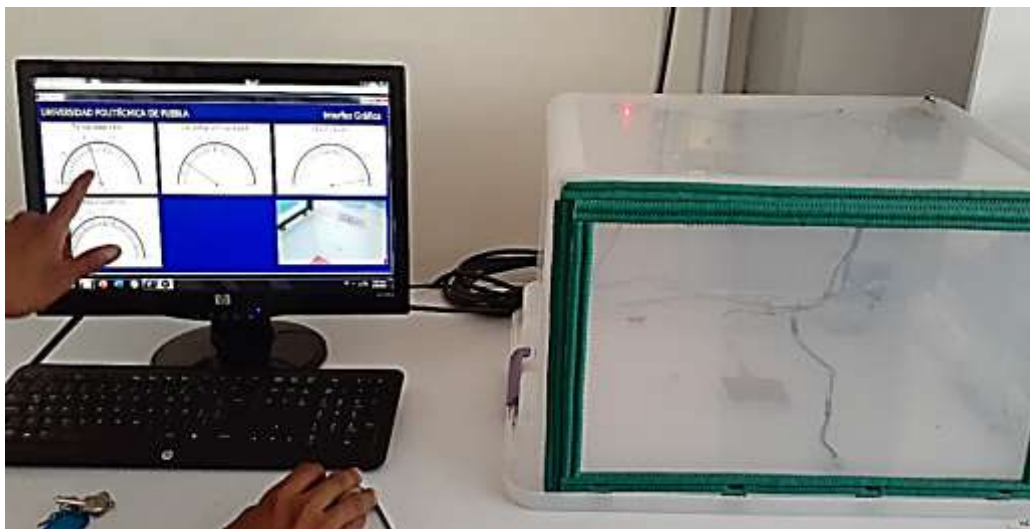


Figura 8: Incubadora instrumentada e interconectada ya funcionando

Después de desarrollar la incubadora e instrumentarla con los sensores seleccionados, se procedió al desarrollo de la etapa de control con el sistema embebido ARDUINO UNO el cual se mantiene interconectado con las señales de entrada (sensores) y con la propia computadora

Finalmente se desarrolló la interfaz gráfica considerando 3 indicadores además de la ventana del video en tiempo real que se toma mediante la cámara Web, localizada en el interior de la incubadora, tal y como se observa en la figura 9.

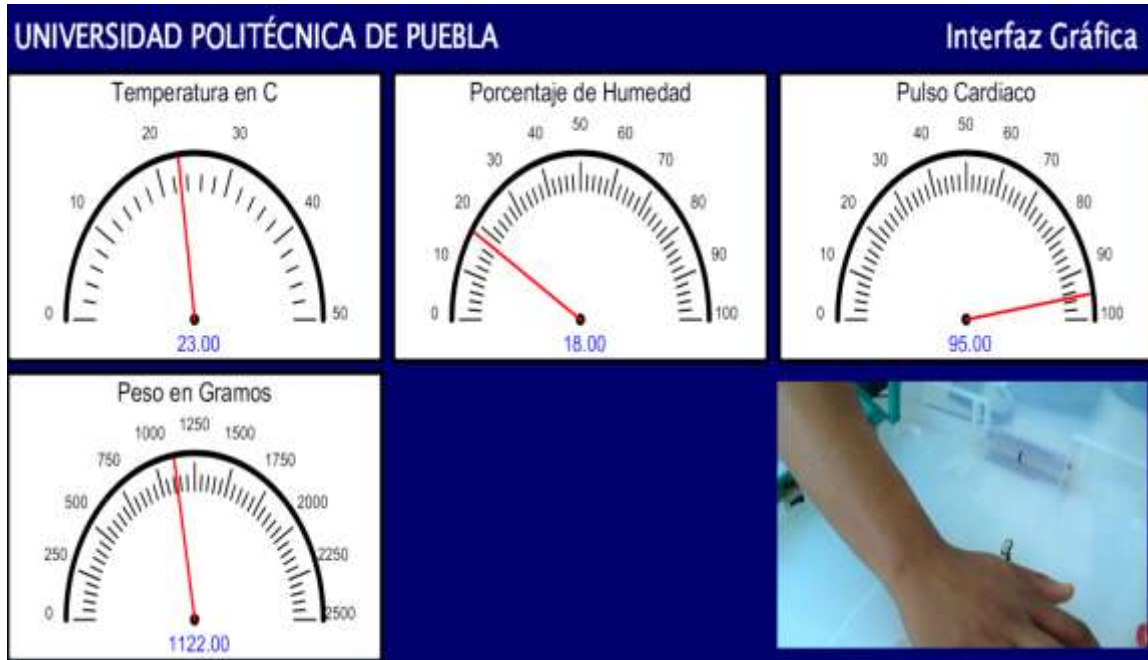


Figura 9: Interfaz gráfica de usuario (GUI) en funcionamiento-

Este trabajo se logró en 3 etapas, donde el sistema de control es la vinculación entre la incubadora instrumentada y la computadora que contiene la interfaz gráfica de usuario y guarda los datos obtenidos. En la figura 10 se muestra el diagrama final con las 3 etapas ya desarrolladas.

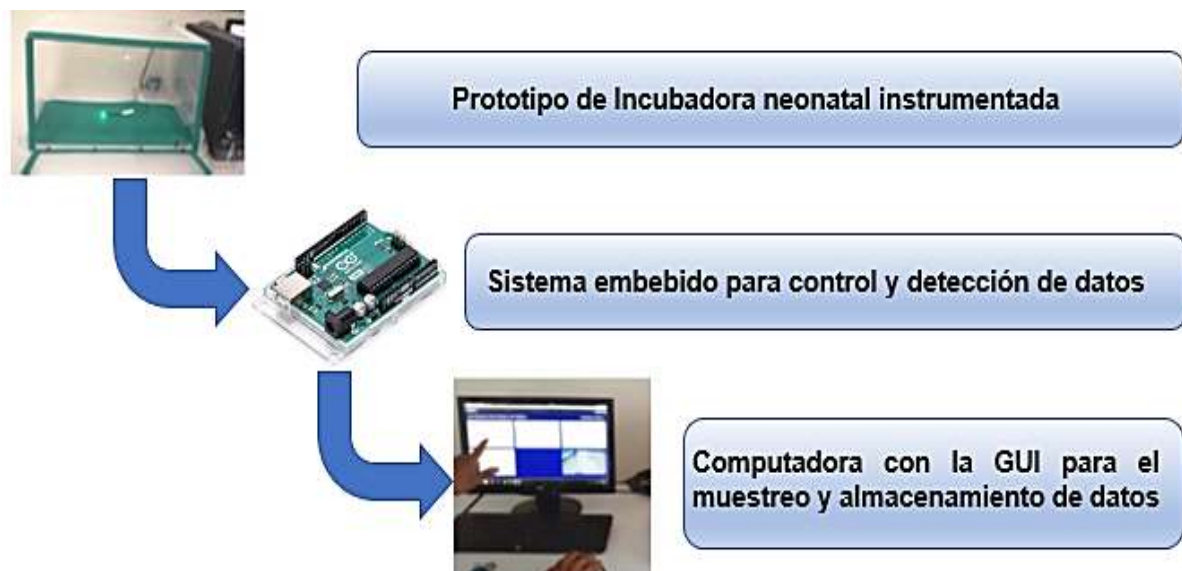


Figura 10: Diagrama de las 3 etapas del proyecto

Trabajo a futuro

Como trabajo futuro se pretende implementar otros sensores útiles para el control de signos vitales de un neonato, tales como sensor de respiración y de movimiento. Se pretende interconectar estos sensores y el sistema desarrollado en una incubadora medica real y buscar el apoyo de algún médico, para probar la misma; además de poder controlar las variables de temperatura y humedad con otros elementos como sistema de ventilación y calefacción y no solo medirlos.

Conclusiones

El realizar este trabajo permitió desarrollar diversas áreas del conocimiento que implican a la investigación aplicada. Se busca concientizar a los estudiantes en el desarrollo de proyectos útiles a la sociedad, este proyecto es completamente didáctico y se planea emplearlo para que los estudiantes de la materia de control automatizado y moderno se involucren en el desarrollo de nuevos procesos y aplicación de la tecnología.

Se buscó que el prototipo y los sensores sean de bajo costo para que pueda ser un equipo fácil de construir y de mejorar en el futuro, pero al mismo tiempo que funcione de manera adecuada, enviando señales en tiempo real cuyos valores puedan almacenarse en un archivo de texto y sean útiles para el usuario final, de forma que cuente con un historial de los signos vitales del neonato.

El prototipo cumple con las condiciones mínimas requerida en el diseño de incubadoras neonatales, pero debido a diversas limitaciones quedan algunos aspectos importantes por mejorar en trabajos futuros.

En la construcción de una incubadora real, los estándares de calidad son mucho más elevados, pero la aproximación con el prototipo desarrollado establece bases importantes para llegar a un equipo que cumpla los estándares clínicos.

La planeación contribuyó al avance en cada una de las etapas de construcción del prototipo y a garantizar una buena coordinación en el momento de integrar la incubadora con los diferentes sensores, puesto que facilitó el ensamblaje y control de las variables que se midieron.

El problema de salud en nuestro país es un área de oportunidad constante para hacer mejoras a los equipos o el desarrollo de nuevos sistema de detección de enfermedades o control de las mismas. De esta forma poder ayudar a la sociedad de una forma diferente.

Referencias

- [1] CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN, Secretaría General, Secretaría de Servicios Parlamentarios Ley General de Salud. Art. 62 y 264. Revisión Agosto 2022.
- [2] Lona Reyes JC, Pérez Ramírez RO, Llamas Ramos L, et al. Mortalidad neonatal y factores asociados en recién nacidos internados en una Unidad de Cuidados Neonatales. Arch Argent Pediatr 2018; 116(1):42-48
- [3] Acevedo Hernández, Guillermo Alexander; Hernández Rueda, Fabio Andrés; Vargas Escobar, Laura Juliana; Salinas, Sergio Alexander Sistema e-Salud para el monitoreo de un prototipo de incubadora neonatal Ciencia e Ingeniería, vol. 38, núm. 2, 2017 Universidad de los Andes, Venezuela Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507555007002>
- [4] BLASCO NAVARRO, Marilin; CRUZ COBAS, Margarita; COGLE DUVERGEL, Yuleiska y NAVARRO TORDERA, Marisel. Principales factores de riesgo de la morbilidad y mortalidad neonatales. MEDISAN [online]. 2018, vol.22, n.7 [citado 2022-09-13], pp.578-599. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192018000700578&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1029-3019.

- [5] Pérez-Díaz R, Rosas-Lozano AL, Islas-Ruz FG, Baltazar-Merino RN, Mata-Miranda MP. Estudio descriptivo de la mortalidad neonatal en un Hospital Institucional. *Acta Pediatr Mex.* 2018; 39(1):23-32.
- [6] Organización Mundial de la Salud. Mejorar la supervivencia y el bienestar de los recién nacidos. 19 de Septiembre de 2020. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/newborns-reducing-mortality#:~:text=Neonatos,del%2040%25%20registrado%20en%201990>.
- [7] Restrepo Pérez, Laura, Durango Londoño, Natalia, Gómez Suárez, Nicolás, González Ramírez, Felipe, & Rivera Bonilla, Nadia. (2007). PROTOTIPO DE INCUBADORA NEONATAL. *Revista Ingeniería biomédica*, 1(1), 55-59. Retrieved August 11, 2022, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-7622007000100012&lng=en&tlng=es.
- [8] Rzonca E, Paweł-Swiezewski E, Gała-zkowski R, Agnieszka B. Neonatal Transport in the Practice of the Crews of the Polish Medical Air Rescue: A Retrospective Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, 17, 705; doi:10.3390/ijerph17030705

Aplicación e implementación de FreeFem++ en disciplinas Ingenieriles.

F. V. Caballero Domínguez^{1*}, L. Vicente Hinestroza², A. M. A. Romero Pérez¹, E. A. Ramos Gómez³, I. G. Monsiváis Montoliu⁴

¹Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza C. II, Universidad Nacional Autónoma de México, Batalla 5 de mayo s/n, Col. Ejército de Oriente, C.P. 09320, Iztapalapa CDMX, México.

²Departamento de Física y Química Teórica, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Coyoacán CDMX, México.

³División de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Coyoacán CDMX, México.

⁴División de Ingeniería Mecánica e Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Coyoacán CDMX, México.

*xymox@unam.mx

Área de participación: Investigación educativa

Resumen

El presente trabajo es una propuesta para resolver ecuaciones diferenciales parciales (PDE) mediante los aspectos teóricos del método del elemento finito y asociarlos de manera directa a códigos implementados en el software FreeFEM++. Se considera que la propuesta docente manejada en esta forma fortalece el aprendizaje significativo en los estudiantes de ingeniería, pues las ecuaciones que se capturan provienen directamente de los desarrollos que se realizan, y, por tanto, los usuarios al escribir los códigos y las modificaciones visualizan sus resultados, encaminados a fortalecer su conocimiento. Aspectos importantes como: la formación de mallas, el número de nodo, los polinomios que se implementan y el tipo de elementos, son características que tiene el software y que pueden apreciarse de manera rápida y directa. Por estas razones, se asegura la estabilidad de la solución de las PDE.

Palabras clave: Ecuaciones diferenciales parciales (PDE), Teorema de Green, FreeFem++, método del elemento finito (FEM).

Abstract

This work is a proposal to solve partial differential equations (PDE) through the theoretical aspects of the finite element method and associate them directly to codes implemented in the FreeFEM++ software. It is considered that the teaching proposal handled in this way strengthens meaningful learning in engineering students, since the equations that are captured come directly from the developments that are carried out, and, therefore, the users, when writing the codes and the modifications, visualize their results in a context of strengthening their knowledge. Important aspects such as: the formation of meshes, the node number, the polynomials that are implemented and the type of elements, are characteristics that the software has and that can be visualized quickly and directly; For these reasons, the stability of the PDE solution is ensured.

Key words: Partial Differential Equations (PDE), Green's Theorem, FreeFem++, Finite Element Method (FEM).

Introducción

Los sistemas distribuidos representan temas de complejidad y amplio detalle, el cual puede ser de suma ayuda si se estudian modelos que representan fenómenos de la naturaleza. Este tipo de aspectos son evaluados por los estudiantes de ingeniería en diversos aspectos. Dichos sistemas son representados por ecuaciones diferenciales parciales (PDE).

El software que se utiliza para la resolución de estos sistemas es especializado y por tanto se requiere una inversión importante para que las instituciones opten por la compra o renta, amén del tiempo para su estudio y

evaluación. En estas circunstancias los profesores han renunciado a modernizar la clase en estos aspectos y se mantienen exponiendo la cátedra de manera formal y con la teoría que siempre ha fortalecido la formación de los alumnos. Sin embargo, las características de los alumnos han cambiado y al momento no se discutirá sobre este aspecto, lo importante es reconocer que son de características visuales y de rápidos resultados aun cuando no dominen en su totalidad los aspectos teóricos. Con estas circunstancias, y, en el entendido que también se requieren soluciones para transmitir los aspectos teóricos de una manera más eficiente; el presente trabajo pretende fortalecer, ampliar e incluso mejorar la forma de transmitir conocimiento a los alumnos que se tienen actualmente en los salones de clase tratando de implementar un software que debe considerar aspectos teóricos para su ejecución como se realiza en FreeFem++.

En este sentido, se tiene como objetivo ofrecer al docente y a los alumnos una rápida revisión del software FreeFem++, se manifiesta que puede ser una alternativa que permita vincular la teoría con una implementación rápida a partir de realizar simulaciones de PDE, de hecho, esta es una característica del software. Por esta razón, el presente trabajo contempla abordar aspectos teóricos del método del elemento finito y su implementación con el software con la intención de lograr un aprendizaje significativo en los alumnos de ingeniería e incluso posgrado. Se optó por incluir el procedimiento de instalación del software FreeFem++ en su versión 4.11 a 64 bits; también fue necesario el entorno gráfico de desarrollo (IDE por sus siglas en inglés) para su adecuada ejecución. En este caso se utilizará el software Geany versión 1.38 (código abierto). Finalmente, se describirán aspectos básicos para considerarse en la simulación de las PDE.

Se debe tomar en cuenta que el desarrollo acelerado de la computación ofrece la representación de modelos más apegados a la realidad a partir de aumentar su complejidad, y no se diga en el ámbito del estudio de las PDE, además, cada vez surgen más propuestas de software con licencia GNU (software gratuito). En los últimos años ha destacado FreeFem++, que ofrece en una primera instancia realizar códigos en base a C++, lenguaje muy común para un amplio sector académico.

En este escenario, el profesor de ingeniería se encuentra inmerso en la siguiente disyuntiva: invertir tiempo en el estudio de software o invertir su tiempo en la preparación e impartición de los fundamentos de su asignatura. Por esta razón el presente trabajo da a conocer algunos aspectos importantes en el uso del software FreeFEM++, y pretende que la transición al software se acorte para una pronta implementación, y como comúnmente es del interés académico, mantener la teoría siempre prevaeciente.

Consideraciones y aspectos importantes del FEM

Sea el planteamiento establecido por Barrera [1]: "Un enfoque para encontrar soluciones aproximadas es la siguiente: dado un problema P cuya solución exacta u pertenece a un espacio de funciones H con norma $|\cdot|$, construir un subespacio H_h de H , la solución aproximada u_h será la función de H_h

$$|u - u_h| \leq |u - v| \quad \forall v \in H_h \quad (1)$$

A grandes rasgos el método de los elementos finitos es una técnica sistemática para encontrar el espacio de aproximación H_h (donde las regiones asociadas a la figura 1, satisfacen la desigualdad establecida en la ecuación 1). Para construir este espacio, el método define una malla T_h , con tamaño de malla h , la cual constituye una partición de la región de definición del problema, sobre esta malla se define un conjunto de funciones de interpolación que constituyen una base del espacio H_h ."

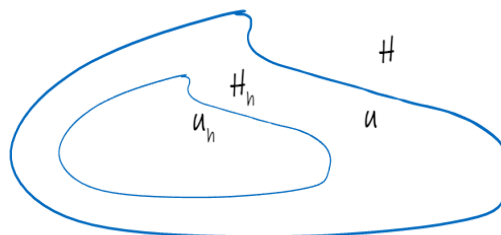


Figura 1. Interpretación del espacio solución H_h

La región del espacio solución se dividirá en subregiones y se establecerán funciones continuas en ellas; las funciones de aproximación que se generarán en cada elemento de la región se aproximarán mediante polinomios.

En este sentido, la discretización del dominio implica establecer el número, tamaño y forma de los elementos o subregiones utilizadas, por tanto, pueden establecerse tres partes generales: (1) la división del cuerpo en elementos. (2) Definir los puntos nodales. (3) La numeración de los elementos y los nodos. Lo anterior conlleva a realizar un balance entre elegir elementos bastante pequeños para arrojar resultados válidos o elementos bastante grandes para reducir el esfuerzo de cómputo, es decir, el tamaño de los elementos es un parámetro crucial dentro del FEM, de manera que los resultados son totalmente desvirtuados si se alejan del margen de estabilidad [2].

La región entonces será dividida en subregiones. Sea una función continua que se aproximará dentro de cada elemento por un polinomio. Por tanto, el número de nodos que define un elemento debe ser igual al número de términos del polinomio de interpolación. El elemento propuesto será especificado por su forma geométrica, por el número de nodos que lo definen y el polinomio de interpolación asociado. En este contexto los elementos están clasificados [1]. Sin embargo, para lograr una sensibilidad académica y sintonía con FreeFem++, el software maneja los polinomios P_1 , P_2 , P_3 , P_4 . En la figura 2 se muestran los distintos elementos y su polinomio de interpolación.

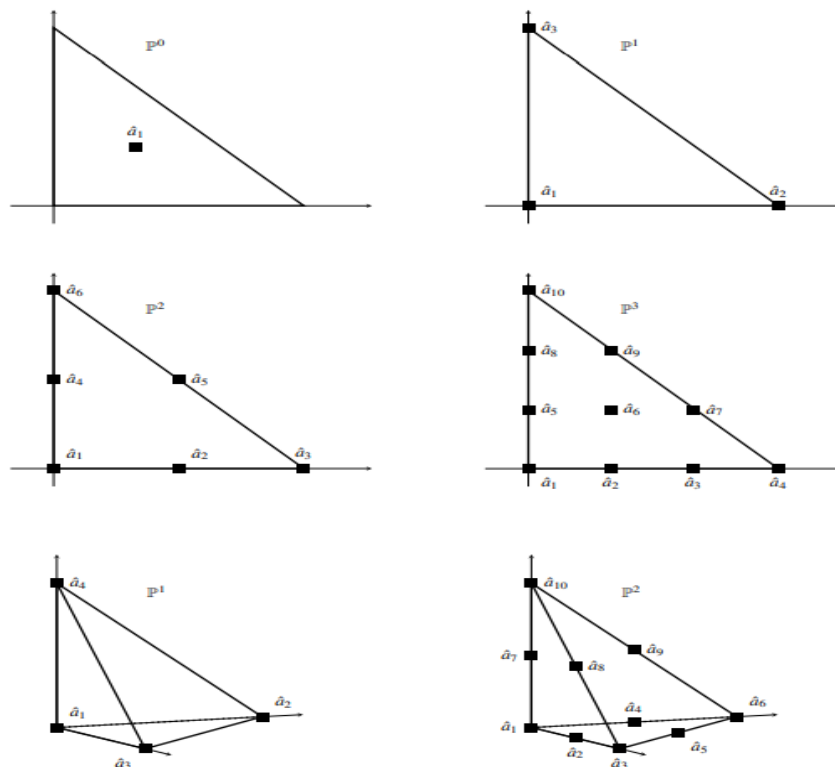


Figura 2. Diferentes elementos con su polinomio de interpolación en 2 y 3D: a) polinomio de interpolación 0 ó P^0 , b) P^1 , c) P^2 , d) P^3 , e) P^1 en 3D, f) P^2 en 3D.

Por analogía, al aumentar el número de nodos al elemento, no es de sorprender que la solución será mejor, pero el cálculo y tiempo de cómputo se incrementa en forma geométrica.

Fundamentos y desarrollo del FEM

Lo anteriormente expuesto logra ser establecido en la formalidad teórica necesaria y suficiente, para más detalle consultar [3], [4] y [5].

Al momento se conoce que la solución del problema vive en un espacio de Hilbert como H_0^1 . La principal dificultad es que este espacio es demasiado grande; de dimensión infinita. La idea básica del FEM consiste en aproximar el gran espacio H_0^1 por espacios de dimensión finita apropiados H_h , (ilustrado en la Figura 1) donde h es un

parámetro positivo, y debe satisfacer las siguientes condiciones: 1) $H_h \subseteq H_0^1$; 2) En H_h puede resolverse el problema variacional de una manera no complicada y obtener una solución u_h ; 3) $\lim_{n \rightarrow 0} H_h \rightarrow H_0^1$

Este procedimiento conduce a una aproximación numérica definida en u_h a partir de generar una solución débil definida como v . Se dice que una función: $v \in H_0^1$ es una solución débil, si la identidad $a(u, v) = \langle f, v \rangle$ se cumple para todo $v \in H_0^1$. La existencia y unicidad de una solución débil suele obtenerse mediante un teorema tipo Lax-Milgram [4], [5], en una forma práctica se denomina función débil porque provienen de un problema definido en ecuaciones diferenciales y al enviarse a su forma integral generan ecuaciones tratables mediante métodos de álgebra lineal cuya solución es única.

Basado en la figura 1. Para construir H_h , donde $n \in \mathbb{N}$ y $h = \frac{1}{n+1}$; el intervalo $[0, L]$ se discretiza como:

$$[0, L] = \cup_{i=0}^n [c_i, c_{i+1}], \quad c_i = ih, \quad 0 \leq i \leq n \quad (2)$$

Obteniendo el conjunto: $H_h = \{v : [0, L] \rightarrow \mathbb{R} \text{ continuo}, v(0) = v(L) = 0 \text{ y } v|_{[c_i, c_{i+1}]} \in \mathcal{P}_1\}$ (3)

Donde \mathcal{P}_1 representa el espacio de polinomios de grado menor o igual a 1. No es difícil demostrar que $H_h \subseteq H_0^1$. En cuanto a la dimensión de H_h , la familia de funciones:

$$\phi_i(x) = \begin{cases} 1 - \frac{|x-c_i|}{h} \\ 0, \text{ de lo contrario} \end{cases} \quad (4)$$

Volviendo a la expresión $a(u, v) = \langle f, v \rangle$ si $f \in L^2$ (2 dimensiones) se obtiene la siguiente ecuación integral transformada en sistema lineal de la siguiente forma:

$$\sum_{i=1}^n u_h^i a(\phi_i, \phi_j) = \langle f, v \rangle, \quad 1 \leq j \leq n, \quad (5)$$

ϕ_i, ϕ_j , representa el nodo de interpolación de una malla que se forma y, cómo puede apreciarse se genera una matriz tri diagonal, la forma de resolverse es mediante el empleo de métodos numéricos para sistemas lineales, como Choleski, este tipo de librerías se incluyen en FreeFem++. Esta es la forma como el software si vincula con los aspectos teóricos.

Metodología

1. Se Descarga FreeFEM-4.11-win64 (<https://github.com/FreeFem/FreeFem-sources/releases>) o el equivalente (aunque sólo se ha utilizado la versión de 187 Mb, aun para procesadores AMD y Ryzen). Es importante mencionar que se sugiere el uso de la ultima versión como lo manifiesta Dapogny et al. [6]
2. Se Descarga geany-1.38_setup (<https://github.com/geany/geany/releases>) se ha utilizado la versión de 26.5 MB.
3. Se ejecuta como administrador FreeFEM-4.11-win64.
4. Se ejecuta como administrador geany-1.38_setup.
5. Se reinicia la PC.
6. Una vez reestablecida la PC. Ejecutar Geany como administrador.
7. Una vez abierto el programa, localizar el menú Herramientas y seleccionar la opción archivos de configuración y seleccionar el archivo filetype_extensions.conf se observa en la pantalla un código color rojo y todas las líneas con #~ que representa los comentarios.
8. Se Selecciona todo el listado de código (queda todo el código sombreado) con el botón derecho del ratón dar click y seleccionar comentar/decomentar línea. Verificar que al realizar esta acción el código torna a color azul y ya no aparece los símbolos #~ en cada inicio de línea. (Ver figura 3 para mayor detalle)
9. Mantenerse en el programa Geany seleccionar el menú archivo abrir la siguiente ruta:
C:\Program Files\Geany\data\filedefs\filetypes.cs
La apertura del archivo se muestra en la figura 4a y básicamente se modifica las líneas del apartado [keywords] que se identifican en la figura como primary y secondary (en la figura 4a por ejemplo, son las líneas numeradas con 6 y 7 respectivamente) realizando lo siguiente:
10. En la línea de primary se coloca el cursor hasta el final del texto de esa línea la última palabra de la línea es while; se agrega un espacio para pegar de manera completa, el siguiente texto: **P0 P1 P2 P3 P4 P5 P1dc**

P2dc P3dc P4dc P5dc RT0 RT1 RT2 RT3 RT4 RT5 macro plot int1d int2d solve movemesh adaptmesh trunc checkmovemesh on func buildmesh square Eigenvalue min max imag exec LinearCG NLG Newton BFGS LinearGMRES catch try intalledges jump average mean load savemesh convect abs sin cos tan atan asin acos cotan sinh cosh tanh cotanh atanh asinh acosh pow exp log log10 sqrt dx dy endl cout

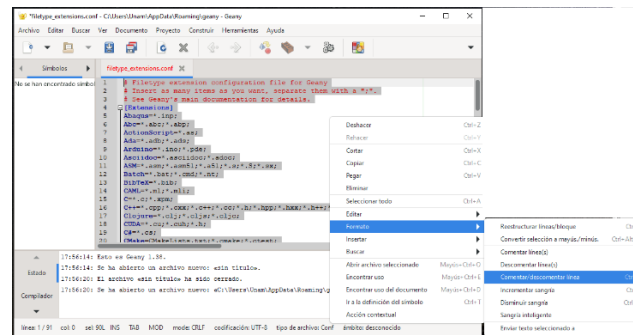
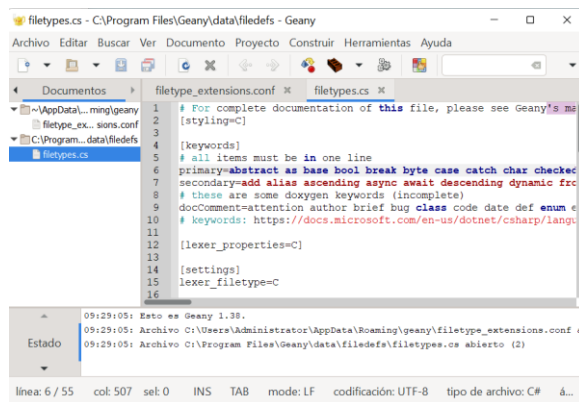
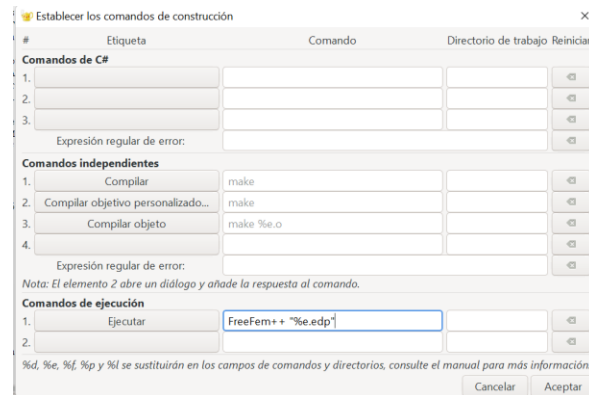


Figura 3. Edición de el archivo filetype_extensions.conf, se observa el color azul decrito en la metodología.



a)



b)

Figura 4. a) Edición de el archivo filetype_extensions.conf y b) Agregar FreeFem++ "%e.edp" en la opción establecer los comandos de construcción.

11. En la línea secondary después del signo igual se elimina todo el texto y se pega de manera completa, el segundo texto:
mesh real fespace varf matrix problem string border complex ifstream ofstream
12. Se guarda el archivo y a continuación se selecciona el menú **construir** y se ejecuta la última opción **establecer comandos de construcción**, aparecerá una pantalla para agregar en la opción comandos de ejecución en el bloque a la derecha de la opción **ejecutar** la siguiente línea: **FreeFem++ "%e.edp"** Es muy importante el espacio entre el signo + y las ". Ver figura 4b. Finalmente aceptar y reiniciar todo.

Desarrollo del código.

Sea la ecuación de Poisson el modelo de prueba a implementarse en FreeFEM++

$$\begin{cases} -\nabla \cdot (c \nabla u) + au = f & \text{en } \Omega \\ c \frac{\partial u}{\partial n} + qu = g & \text{sobre } \partial \Omega \end{cases} \quad (6)$$

Donde $\Omega \subset \mathbb{R}^N$ es un dominio acotado con frontera suave $\partial \Omega$ ($N = 2, 3$ en aplicaciones reales), $x = (x_1, \dots, x_N) \in \Omega$, $u = u(x)$ es la incógnita, $\nabla u = \left(\frac{\partial u}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial u}{\partial x_N} \right)$ es el gradiente de u , $c = c(x)$, $a = a(x)$ y $f = f(x)$ son funciones definidas en Ω , $q = q(x)$ y $g = g(x)$ son funciones definidas en $\partial \Omega$. $\frac{\partial u}{\partial n} = \nabla u \cdot n$ es la derivada direccional de u

con respecto al vector normal unitario exterior n a $\partial\Omega$, $\nabla \cdot$ denota el operador divergencia y finalmente $\nabla^2 u = \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2}, \dots, \frac{\partial^2 u}{\partial x_N^2}\right)$ es el laplaciano de características escalares.

Para obtener la formula variacional de la ecuación 6 (ecuación de Poisson), multiplicamos la PDE por una función débil (v) y se integra en el dominio Ω , para obtener:

$$\int_{\Omega} [-\nabla \cdot (c\nabla u) + au]vd\Omega = \int_{\Omega} fvd\Omega \quad (7)$$

Aplicando el teorema de Green se obtiene:

$$\int_{\Omega} (c\nabla u \cdot \nabla v + auv)d\Omega - \int_{\partial\Omega} n \cdot (c\nabla u)v d\Gamma = \int_{\Omega} fvd\Omega \quad (8)$$

La segunda integral del lado izquierdo es una integral de línea (N=2) o integral de superficie (N=3), además en ese término se sustituyen las condiciones fronteras para obtener finalmente:

$$\int_{\Omega} (c\nabla u \cdot \nabla v + auv)d\Omega - \int_{\partial\Omega} (-qu + g)v d\Gamma - \int_{\Omega} fvd\Omega = 0 \quad (9)$$

En este momento es adecuado mencionar que el software FreeFem++ ingresa las condiciones de frontera tipo Robin y Newman siempre y cuando sean diferentes de cero, es muy importante manifestar que si fueran cero el software considera condiciones homogéneas y automáticamente cierra consistentemente el sistema. Para terminar esta aclaración las condiciones Dirichlet no ingresan en esta formulación, en el desarrollo presentado en la tabla 1 se discute este aspecto.

De la manera como se generó (9) es como el software FreeFem++ agrega la línea de código, Si es necesario resolver un sistema de PDE's; se repite la línea (9) para cada ecuación con sus respectivas condiciones a la frontera y debe evaluarse si se requiere una malla por ecuación o en su defecto, la física del problema determinará si sólo una malla es suficiente. Una formulación más detallada se presenta en la tabla 1.

Tabla 1. Desarrollo de códigos a ejecutar en el software FreeFem++

Fundamento teórico.	Generación del código
<p>Por ejemplo, la ecuación de Laplace en dos dimensiones en una región cuadrada:</p> $\nabla^2 u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0 \quad (10)$ $u(0, y) = c_1 \quad y \quad u(L, y) = c_3;$ $u(x, 0) = 0 \quad y \quad u(x, L) = 0$ <p>Comparada con el caso 6 en la ecuación de Laplace ($a = f = 0$) existen simplificaciones, debemos recordar que v es la variable de la función débil de esta forma con las simplificaciones; (9) queda de la siguiente manera:</p> $\int_{\Omega} (\nabla u \cdot \nabla v)d\Omega - \int_{\partial\Omega} (-qu + g)v d\Gamma = 0 \quad (11)$ <p>En la figura de la derecha la frontera inferior y superior son c_1 y c_3, las fronteras c_2 y c_4, son cero u homogéneas en FreeFem++ no necesitan agregarse. Finalmente, estas fronteras son del tipo Dirichlet (se agregan con el comando on) y no tienen cabida en la ecuación (11), por eso, el segundo término no aparece: Establecido lo anterior, se tiene lo siguiente:</p> $\int_{\Omega} (\nabla u \cdot \nabla v)d\Omega = \int_{\Omega} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial y}\right) d\Omega = 0 \quad (12)$	<p>Contorno de la región</p> <pre>1 border C1(t=0,1){x=t;y=0;} 2 border C2(t=0,1){x=1;y=t;} 3 border C3(t=0,1){x=1-t;y=1;} 4 border C4(t=0,1){x=0;y=1-t;} 5 plot(C1(3)+C2(3)+C3(3)+C4(3),dim=2);</pre> <p>La primera línea de código deja a $y=0$ y x se modifica de 0 a 1, generalmente este es el primer contorno, observe que las flechas de los segmentos giran en sentido contra horario. Esto debe mantenerse para cerrar fronteras. El siguiente código muestra la forma de codificar la ecuación 10, fronteras incluidas:</p> <pre>problem Laplace(u,v)= int2d(Th)(dx(u)*dx(v)+dy(u)*dy(v)) on(C1,u=c_1)+on(C3,u=c_3);</pre> <p>Donde Laplace, es el nombre de la función en la región del fenómeno. De hecho, es la manera de definir la expresión (12) antecedido del comando problem</p> <p>El comando int2d(Th) es la integral en la región Ω, formada por la malla T_h, y limitada por los contornos, en este caso formados por C1, C2, C3 y C4. El Problema como se muestra en (10) tiene 2 condiciones Dirichlet, que el FreeFem++ se agregan con el comando on. Es de evaluar que sólo se agregan aquellas que son diferente de cero, el software trata de manera automática no sólo las condiciones Dirichlet, también Newman.</p>

Aspectos más complejos de las EDP se presentan en el trabajo de Herus et al [7], incluso de discute el aumento del número de nodos y el uso de la computación paralela exclusivo para FreeFem++

Resultados

En la tabla 2 se realizaron dos ejercicios de FreeFem++. Es necesario instalar el software FreeFem 4.11 y Geany 1.38, este último actúa como entorno de desarrollo integrado (IDE), la primera columna de la tabla 2 es la etapa, en la segunda columna se encuentra el ejemplo en coordenadas rectangulares (2ª. Columna): finalmente, en la 3er. Columna se agregó un ejemplo en un perímetro circular.

Tabla 2. Desarrollo de códigos a ejecutar en el software FreeFem++

Etapa	Problema rectangular	Problema circular
Definición de la geometría	<p>Abrir Geany después menu luego Archivo hacer un archivo nuevo y en la pantalla de trabajo agregar lo siguiente:</p> <pre>1 border C1(t=0,3){x=t;y=0;} 2 border C2(t=0,1){x=3;y=t;} 3 border C3(t=0,3){x=3-t;y=1;} 4 border C4(t=0,1){x=0;y=1-t;} // 5 plot (C1(5)+C2(5)+C3(5)+C4(5));</pre> <p>Guardar como Laplace.edp (muy importante la extensión) luego menú seleccionar construir opción ejecutar y aparecerá un icono de engranes. Dar click y saldrá la figura de la simulación</p>	<p>También para este ejemplo deben realizarse las observaciones de la segunda columna.</p> <pre>1 border C1(t=0,2*pi){x=5*cos(t);y=5*sin(t);} // comentario 2 border C2(t=0,2*pi){x=cos(t);y=sin(t);} 3 plot (C1(50)+C2(50),dim=2, ps="circles.eps");</pre>
mallado	<pre>5 mesh Th=buildmesh(C1(10)+C2(20)+C3(50)+C4(100)); 6 plot (Th); // Recordar Th es la malla de tamaño</pre>	<pre>3 mesh Th=buildmesh(C1(50)+C2(-10)); 4 plot (Th);</pre>
Condiciones frontera y solución	<pre>5 mesh Th=buildmesh(C1(20)+C2(20)+C3(20)+C4(20)); 6 // plot (Th); comentarios 7 fespace Hh(Th,P1); 8 Hh u, v; 9 problem Laplace(u,v)= 10 int2d(Th)(dx(u)*dx(v)+dy(u)*dy(v)) 11 +on(C1,u=2)+on(C3,u=0); 12 13 Laplace; 14 plot(u, value=1, fill=1, nbiso=30, ps="Laplace.eps");</pre> <p>NOTA en todos los listados de código se agregó el número como referencia a la discusión. Cuando se ejecuta Geany la numeración es automática. Cuando se repitan los números, se debe actualizar por fila y eliminar el comando repetido de la fila anterior</p>	<pre>4 real T0=60.; 5 real T1=60.; 6 real Tamb=20.; 7 real dt=0.5; 8 real alpha=1; 9 fespace Hh(Th,P1); 10 Hh u, v, uold; 11 u=T0; 12 uold=u; 13 problem heat(u,v)= 14 int2d(Th)(u*v/dt) 15 -int2d(Th)(uold*v/dt) 16 +int2d(Th)(alpha*(dx(u)*dx(v)+dy(u)*dy(v))) 17 +int1d(Th, C1)(alpha*u*v) 18 -int1d(Th, C1)(alpha*Tamb*v) 19 +on(C2,u=T1); 20 for(int it=1; it<=300; it++){ 21 heat; 22 uold=u; 23 plot(u, nbiso=30, fill=1, wait=0, value=1);</pre>

Para una adecuada ejecución las líneas numeradas representan el código; las líneas que no están numeradas son comentarios, indicaciones y aspectos a considerar. Debe observarse que en las diversas etapas hay números que se repiten, sin embargo, deben editarse con respecto a la etapa actual por analizar. Se recomienda ejecutar por etapas y contrastar los cambios que se van generando. En la fila 1 de la tabla 2, es posible distinguir que los comandos **border** limitan la región como se aprecia en las figuras 5 y 6.

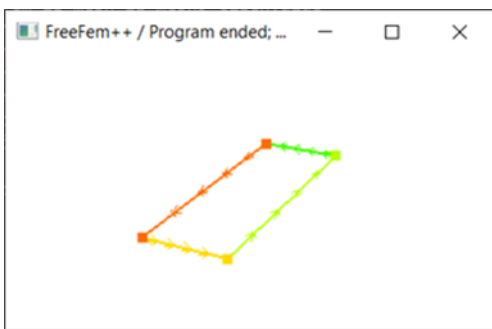


Figura 5. Generación de la geometría rectangular de acuerdo a los comandos de la tabla 2 en la etapa de definición de la geometría.

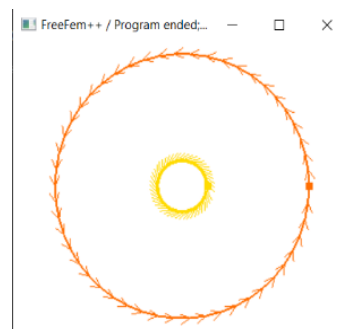


Figura 6. Generación de 2 círculos concéntricos de acuerdo al código de la tabla 2 en la etapa generación de geometría.

En la segunda etapa de la tabla 2 se genera la malla (etapa mallado en la tabla 2) y se define con el comando **mesh** seguido de una variable, en este caso se utiliza de manera asociativa T_h para recordar que en el marco teórico así se definió la malla $T_h = \text{buildmesh}()$, este comando realiza el mallado de la región previamente definida. Las mallas son generadas de acuerdo con los descrito en las gráficas 7 y 8, por cierto, la doble diagonal // es el símbolo de comentarios, recordando que su única función es recordar aspectos importantes, sin embargo, no influyen en la generación del código propiamente dicho.

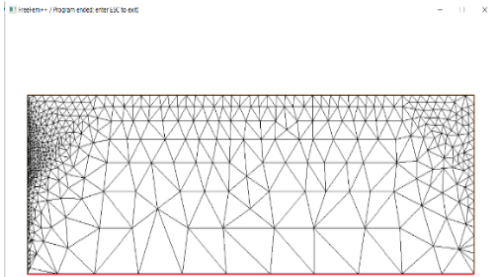


Figura 7. Generación del mallado en una región rectangular, se observa cómo cada frontera tiene entre paréntesis un número diferente y C4(100) representa la pared izquierda en donde hay más elementos.

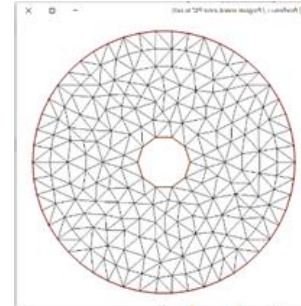


Figura 8. Generación de un claro circular, se observa cómo en la línea tres del código, el contorno C2 tiene entre paréntesis el número -10 y de este modo la región se elimina.

Aunque en la tabla 1 se estableció la forma de plantear y codificar la PDE, existen 2 pasos preparatorios y se muestran en la fila 3 segunda columna de la tabla 2, identificados como paso 7 y 8:

- 7 **fespace** $H_h(T_h, P1)$; en este paso como lo menciona la teoría el comando **fespace** construye el subespacio H_h , donde la solución del problema será aproximada, se define la malla T_h y los elementos que la conforman, en este caso se establece que los elementos se construyen con polinomios de interpolación $P1$
- 8 $H_h u, v$; en la línea 8 de identifica el nombre de la variable del subespacio, más la variable solución, y finalmente la variable débil

Para agregar la ecuación en la región mallada T_h , se define el comando **problem**, el nombre de la variable y las variables independientes encerrados en paréntesis es lo que se observa en la tabla 2 segunda columna, tercera fila línea 9, posteriormente en ese mismo sitio se encuentran las líneas 10 y 11 donde se define la PDE más las fronteras. Una vez comentado el cuerpo del problema, en el paso 13 se repite el nombre de la variable (recordar que se utilizó la palabra Laplace) y después de esto, el código se encuentra en condiciones de ofrecer una gráfica que muestre el resultado en particular analizamos la línea 14: `plot(u, value=1, fill=1, nbiso=30, ps="Laplace.eps");`

El comando **plot**, grafica la variable que es el primer elemento (u), y características adicionales son colocadas en paréntesis y separadas por comas: `value` es una variable booleana si tiene 1 es verdadero e indica que deben aparecer valores de la malla y se identifican por el color respectivo, `nbiso=30` indica el número de barras de colores que se asocian a valores de la variable, al igual que `value`, `fill=1` se refiere a que las barras del gráfico se encuentran llenos pues también pueden aparecer líneas. `ps= nombrearchivo.eps`, es la manera de generar un gráfico, aunque este formato no es compatible con Windows, el software libre `ghostscript` permite abrir este tipo de documentos. Todo lo anterior se aprecia en la figura 9. Finalmente, al comparar la línea 14 (discutida en el párrafo anterior) con la línea 23 de la tercera fila última columna (tabla 2); en la línea `plot(u, nbiso=30, fill=1, wait=0, value=1)`; existe un comando de diferencia, el comando booleano `wait=0` si se agrega 1 significa que la gráfica se detiene en la pantalla hasta que se oprima la tecla ejecutar (enter en inglés). Más adelante se discute la importancia de este comando.

Para culminar la generación del código se describirán aspectos importantes en la generación del código de la tercera columna correspondiente a una geometría circular, en primera instancia se presenta la ecuación a resolver:

$$\begin{aligned}
 -\nabla \cdot (a \nabla u) &= \frac{\partial u}{\partial t} ; \quad \frac{\partial u}{\partial t} + \nabla \cdot (a \nabla u) = 0 \quad \text{en } \Omega \\
 c \frac{\partial u}{\partial n} + qu &= g ; \quad \frac{\partial u}{\partial n} = -\frac{qu}{c} + \frac{g}{c} \quad \text{sobre } \partial \Omega
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Las ecuaciones del lado derecho del sistema (10) han sufrido las siguientes consideraciones que deben tomarse en cuenta: (1) se sustituyó c por α , pues en problemas de transferencia de calor así se conoce a la constante de difusividad térmica, la divergencia del gradiente de temperatura (u) se establece en las direcciones x e y , esta identidad se trabajará como se ha aplicado **int2d**, por otra parte $\partial u/\partial t$, se discretiza como en el esquema de Euler, es decir será aproximado como $(u-u_{old})/dt$, donde dt es el tamaño de paso. La ecuación, por tanto, queda de la siguiente manera, previo se incluye también la integral al subdominio y se multiplica por la variable débil v (ecuación 7 y 8) de este modo se tiene:

$$\frac{u-u_{old}}{dt} + \alpha \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (11)$$

$$\int_{\Omega} \left(\frac{uv-u_{old}v}{dt} + \alpha \left(\frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right) d\Omega - \int_{\partial\Omega} \left(-\frac{u}{\alpha} + \frac{T_{amb}}{\alpha} \right) v d\Gamma = 0 \quad (12)$$

Por este motivo, el código se define de la siguiente manera:

problem

```
heat(u,v)= int2d(Th)(u*v/dt) -int2d(Th)(uold*v/dt) +int2d(Th)(alpha*(dx(u)*dx(v)+dy(u)*dy(v)))
+int1d(Th, C1)(alpha*u*v) -int1d(Th, C1)(alpha*Tamb*v)
+on(C2, u=T1).
```

Una vez definida la variable **heat** para todo el dominio únicamente falta el contorno de la frontera inferior (el círculo de menor radio) en donde existe una condición Dirichlet por esta razón se agrega: **+on(C2, u=T1)**. Todo lo anterior se encuentra codificado desde el paso 13 al 19 y se va codificando de factor a factor, sobre todo para hacer más fácil la compilación y detectar más rápido los errores.

Del paso 20 al 23 se genera un ciclo en donde se requiere T_0 (temperatura inicial), T_{amb} (temperatura ambiente) y T_1 (=60 celsius) la frontera de la circunferencia de menor radio (ver pasos 4-6) se define el tamaño de paso dt (paso 7) al inicio la variable $u=T_0$ y en cada paso se va guardando u_{old} .

Las gráficas mostradas en la figura 10 representan el inicio donde toda la región se encuentra en 60 celsius, pero como tiene una frontera de flux con un vector unitario hacia el exterior identificando un enfriamiento, Por este motivo, en la figura 10 se observa como las temperaturas han disminuido y sólo el contorno interior se mantiene a 60 porque está impuesta la condición Dirichlet con la temperatura de 60 celsius.

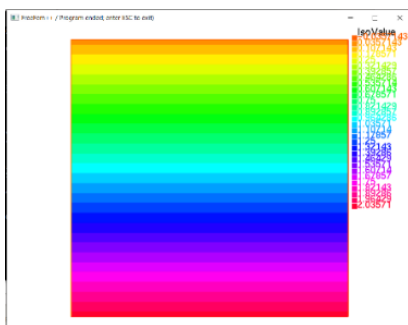


Figura 9. Patrón de temperaturas adimensionales

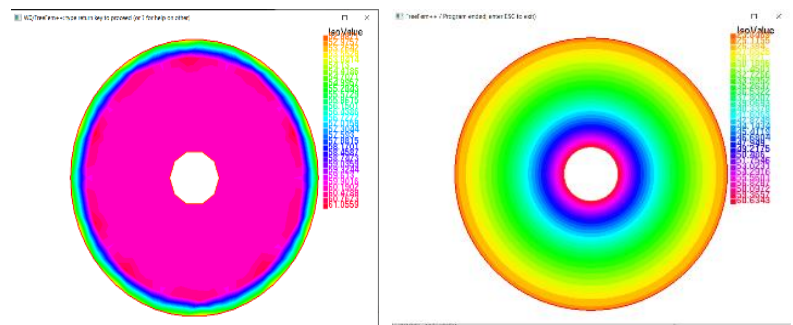


Figura 10. Distribución de la temperatura al inicio y final de la simulación.

Finalmente, se manifiesta que Alpha debe estar como inverso en las integrales de línea: (segunda integral de la ecuación 12) comparada con: **int1d(Th, C1)(alpha*u*v) -int1d(Th, C1)(alpha*Tamb*v)** donde se encuentra de manera directa. Sin embargo, al tener un valor de 1, no es factor, aunque debe contemplarse que, para algunos casos, los valores pueden demandar un dt menor al utilizado en el ejemplo. También las temperaturas agregadas han sido arbitrarias y por supuesto que se consideran en la medida de lo posible, variables adimensionales para simplificar las simulaciones. Y evaluar de mejor manera los parámetros y su efecto.

Trabajo a futuro

El conocimiento del software llega en un momento adecuado para algunos autores del presente trabajo, ya que se tiene como meta a corto plazo, simular reacciones en superficies catalíticas de acuerdo con lo establecido en el proyecto financiado por DGAPA UNAM denominado *Formación de patrones y oscilaciones en sistemas catalíticos heterogéneos: simulación y modelado del Oxígeno subsuperficial*. (IN112122). Bajo este escenario, las especies deben difundirse en la región Ω y deben ingresar en alguna parte del contorno $\partial\Omega$, una vez ingresadas las especies se difundirán en la malla y cuando las especies estén muy juntas, reaccionarán incorporándose a la fase gaseosa abandonando los sitios catalíticos. Aspectos complejos como la reversibilidad de la reacción y el cambio de fase de las especies deben considerarse todo lo anterior con miras de validación y aplicaciones del tipo ambiental y energéticas [8], donde fenómenos de multiplicidad, oscilación e incluso caos pueden simularse bajo la cuidadosa codificación en FreeFem++ y es, hacia donde se dirigen estas aplicaciones. En este sentido de oportunidad, es cómo surgió el presente trabajo y por supuesto que el conocimiento de más colegas en el campo trae de manera automática la retroalimentación, tan necesaria en este tipo de trabajos y posibles colaboraciones.

Conclusiones

El presente trabajo realizó un breve análisis del software FreeFem++, el desarrollo de las ecuaciones en un contexto teórico que posteriormente permite agregarlo al software es una característica que los estudiantes de ingeniería apreciarán incluso, su implementación en ciencias también será exitosa. Se manifiesta que el software demanda el manejo de aspectos teóricos y es muy deseable, pues los usuarios revisan sus avances y pueda confirmar sus hipótesis y teorías. Por otra parte, se considera que el software puede arrojar resultados coherentes y comparables y se recomienda su empleo permanente, de este modo, aumentará el crecimiento de esta comunidad y puede lograrse una comunicación efectiva que permita apoyo en los problemas a resolver. Se recuerda que, al ser software libre, los tutoriales y materiales de aprendizaje aún son demasiado extensos y complejos. Por esta razón, se recomienda a los lectores realizar y generar códigos con el apoyo de los tutoriales y que se ofrecen en la página del software (<https://freefem.org>) y por supuesto siguiendo las recomendaciones de este trabajo.

Agradecimientos

A DGAPA UNAM por el soporte financiero hacia el proyecto PAPIIT IN112122.

Referencias

- [1] Barrera C. H. fundamentos del método de elementos finitos en aplicaciones. En Laín Beatove S, Hidalgo Salazar M. A (Eds), El método de los elementos finitos y sus aplicaciones en ingeniería (pp. 31-58), Universidad Autónoma de Occidente. 2012. [L0036.pdf \(uao.edu.co\)](#)
- [2] Méndez Moreno, L. M, Orozco Hernández, G, & Fonseca, F. (2015). Discretización en diferencias finitas de la ecuación de Laplace y Poisson. Aplicación a un anillo circular (dona). Ciencia en Desarrollo, 6(2), 225-229. 2015. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-74882015000200012&lng=en&tlng=es
- [3] Font R., Periago S. The Finite Element Method with FreeFem++ for beginners. The Electronic Journal of Mathematics and Technology. 7(4), ISSN 1933-2823. 2019. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7390430>
- [4] Pinder, J. F., Numerical Methods for Solving Partial Differential Equations: A Comprehensive Introduction for Scientists and Engineers; Wiley. New Jersey, 2018.
- [5] Surana K. S., Reddy J. N. The finite element method for boundary value problems, CRC Press, Boca Raton, 2017.
- [6] Dapogny C., Frey P., Omnès F., Privat Y. Geometrical shape optimization in fluid mechanics using FreeFem++. *Struct Multidisc Optim* 58, 2761–2788, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00158-018-2023-2>
- [7] Herus V.A., Ivanchuk N.V., Martyniuk, P.M. A System Approach to Mathematical and Computer Modeling of Geomigration Processes Using Freefem++ and Parallelization of Computations. *Cybern Syst Anal* 54, 284–294, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0030-3>
- [8] Suchorski Y. Datler M. Bepalov I. Zeininger J. Stöger-Pollach M. Bernardi J. Grönbeck H. Rupprechter G. Visualizing Catalyst heterogeneity by a multifrequential oscillating reaction. Nature Communications. 9-600. 2018. DOI: 10.1038/s41467-018-03007-3